PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 5/6. 15. März 1916. Redaktionsschluß für No. 7 am 1. April 1916. 17. Jahrgang.

INHALT:

Originalmitteilungen:

M. Siegbahn u. E. Friman, Über die Hochfrequenzspektra (Z-Reihe) der Elemente Polonium, Radium, Thor und Uran. S. 61.

Th. Wereide, Die statistisch-mechanische Grundlage der Thermodynamik. S. 62.

Th. Wereide, Die Entropie materieller Systeme. S. 68.

M. Wolfke, Strahlungseigenschaften des Debyeschen Modells eines Wasserstoff-Moleküls. S. 71.

V. F. Hess, Über das Wulfsche Elektrometer und das Engler und Sievekingsche Fontaktoskop. S. 72.

C. Engler u. A. König, Über die verbesserte Form des Fontaktoskops nach Engler und Sieveking. S. 73.

B. Walter, Bemerkungen zu den vorstehenden Abhandlungen des Herrn Hess und der Herren Engler und Koenig. S. 75.

Zusammenfassende Bearbeitungen:

W. Voigt, Flüssige Kristalle und anisotrope Flüssigkeiten. (Erster Teil.) S. 76.

Personalien. S. 87.

Vorlesungsverzeichnis f. das Sommersemester 1916. S. 87.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Über die Hochfrequenzspektra (*L*-Reihe) der Elemente Polonium, Radium, Thor und Uran.

Von Manne Siegbahn und Einar Friman.

In einer früheren Mitteilung[1]) wurde über eine vollständige Untersuchung der *L*-Reihen der Elemente Tantal bis Wismut berichtet. Es wurden hierbei wenigstens elf Liniengruppen festgestellt. Die Messungen sind jetzt mit Benutzung derselben Apparatur auf die Elemente Polonium, Radium, Thor und Uran erstreckt worden. Bei Polonium, das als elektrolytischer Niederschlag auf einem Kupferblech zur Untersuchung gelangte, wurden zwei von den charakteristischen Linien (α_1, β_1) nebst einer Zahl anderer Linien, die möglicherweise von Verunreinigungen herrühren, erhalten. Bei *Ra* konnte dagegen wegen der Kleinheit des zur Verfügung stehenden Bromsalzes (0,1 mg) nur eine sehr schwache α-Linie aufgenommen werden. *Th* und *U* gaben beide linienreiche Spektra.

Die Resultate der Messungen finden sich in den Tabellen 1—4.

Tabelle 1. Polonium.

Linie	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
	12° 43′ 40″	1.240	0,898
$Po^*\alpha_1$	12° 3′ 35″	1,176	0,922
	11° 45′ 35″	1,147	0,934
α_1	11° 21′ 35″	1,109	0,950
	10° 46′ 50″	1,053	0,975
	10° 41′	1,043	0,979
$Po^*\beta_1$	10° 3′ 10″	0,982	1,009
	9° 48′ 50″	0,959	1,021
β_1	9° 24′ 45″	0,920	1,042
	9° 9′	0,895	1,057
	8° 56′ 45″	0,875	1,069
	8° 50′ 40″	0,865	1,075

*) Wahrscheinlich vom Bleispalte herrührend.

Tabelle 2. Radium.

Linie	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_1	10° 20′ 30″	1,010	0,995

Tabelle 3. Thorium.

Linie	Rel. Intens.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_2	3	9° 54′ 50″	0,969	1,016
α_1	10	9° 47′ 25″	0,957	1,022
	2	8° 23′ 58″	0,830	1,098
β_2	6	8° 7′ 45″	0,797	1,121
β_1	8	7° 49′ 20″	0,766	1,143
β_3	2	7° 44′ 30″	0,758	1,149
γ_1	4	6° 40′ 30″	0,654	1,236
$\gamma_{2,3}$	1	6° 28′ 35″	0,635	1,255

Tabelle 4. Uran.

Linie	Rel. Intens.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_2	3	9° 25′ 35″	0,922	1,042
α_1	10	9° 10′	0,911	1,048
	2	8° 1′ 40″	0,786	1,128
β_2	7	7° 43′ 15″	0,756	1,150
	2	7° 28′ 25″	0,748	1,156
	2	7° 23′ 45″	0,724	1,175
β_1	7	7° 20′ 50″	0,720	1,179
β_3	1	7° 14′ 50″	0,710	1,187
γ_1	4	6° 16′ 25″	0,615	1,275
	0	6° 11′ 25″	0,607	1,284
$\gamma_{2,3}$	0	6° 4′ 25″	0,596	1,296

1) Siegbahn und Friman, Ann. d. Phys. 1916.

Wenn man die Wurzeln aus $\frac{1}{\lambda}$ gegen die Ordnungszahlen für sämtliche untersuchte Elemente graphisch aufträgt, ergibt sich, daß die neuen α_2-, α_1- und β_2-Werte mit den alten genau in gerader Linie liegen, während die übrigen (β_1, β_3, γ_1, γ_2, γ_3) höher fallen. Es ist daher unzweifelhaft, daß die diese Gruppen darstellenden Kurven nach oben gekrümmt sind. —

Lund, Physikalisches Institut der Universität, 12. Februar 1916.

(Eingegangen 15. Februar 1916.)

Die statistisch-mechanische Grundlage der Thermodynamik.

Von Th. Wereide.

Die klassische Thermodynamik ruht auf dem folgenden Satze:

Ein beliebiges physikalisches System mit Energie u, das in einem Volumen v unter dem Drucke p und der Temperatur T eingeschlossen ist, hat eine charakteristische Funktion, die Entropie. Diese Funktion S ist durch die Gleichung

$$S = \int \frac{du + p\,dv}{T}$$

definiert, wo die Differentiale des Integrals sich auf Änderungen beziehen, die in der Nähe des Gleichgewichtszustandes verlaufen. Alle meßbaren Änderungen in dem System finden in solcher Weise statt, daß die Entropie dabei wächst. Wenn keine solchen Änderungen mehr stattfinden, hat die Entropie ihr Maximum erreicht.

In dem Folgenden soll gezeigt werden, wie man den obigen thermodynamischen Satz auf statistisch-mechanischem Wege ableiten kann.

Die Grundlage dieser Theorie ist dieselbe wie bei Gibbs[1]) mit der Ausnahme eines einzigen Punktes. Wenn Gibbs die statistischen Eigenschaften eines Systems studieren will, betrachtet er eine große Zahl von Exemplaren desselben Systems in verschiedenen Zuständen. Diese Systeme bewegen sich unabhängig voneinander. Die Wahrscheinlichkeit eines Zustandsgebietes wird definiert als der Bruchteil der Systeme, die sich in einem gegebenen Augenblick in dem Gebiete befinden.

Im Gegensatz hierzu werden wir in dem Folgenden nur ein einzelnes System betrachten; und als Wahrscheinlichkeit werden wir die von Einstein[1]) eingeführte Wahrscheinlichkeit nach der Zeit benutzen.

Während unsere Grundgleichungen dieselben sind wie bei Gibbs, so wird die weitere Ausbildung der Theorie, infolge des erwähnten Unterschiedes, von der Gibbsschen verschieden.

Bevor wir das Problem allgemein angreifen, sollen die Grundbegriffe durch ein einfaches Beispiel illustriert werden.

Es sei ein Würfel gegeben, in welchem sich ein einziges Gasmolekül hin- und herbewegt. Die Lage des Moleküls in einem gegebenen Augenblick ist bestimmt durch drei Koordinaten x, y und z. Untersuchen wir zuerst die Änderung der Koordinate x. Wir teilen die x-Kante des Würfels in eine Reihe gleich großer Teile dx. Dann denken wir uns, daß wir die Bewegung des Moleküls verfolgen können. Das Molekül läuft hin und her und in solcher Weise, daß es mit gewissen Zeitintervallen zu dem Gebiete dx zurückkehrt. Wenn die Koordinate x Werte hat, die dem Elementargebiete dx zugehören, so wollen wir dies dadurch ausdrücken, daß wir sagen: die Koordinate x ist in dem Elemente dx enthalten.

Es sei $\triangle\varrho_x$ die Zeit, die das Molekül braucht, um das Gebiet dx zu durchlaufen, und es sei ϱ die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Besuchen in demselben Gebiete. Wenn wir die x-Bewegung des Moleküls hinreichend lange beobachtet haben, fangen wir an, den Mittelwert zu bilden

$$\overline{\triangle\varrho_x} = \frac{1}{\nu}(\triangle\varrho_{x1} + \triangle\varrho_{x2} + \cdots + \triangle\varrho_{x\nu})$$

und

$$\overline{\varrho_x} = \frac{1}{\nu}(\varrho_{x1} + \varrho_{x2} + \cdots + \varrho_{x\nu}).$$

Nach jedem Besuche des Moleküls im Gebiete dx bilden wir einen neuen Mittelwert. Wir setzen voraus, daß diese Mittelwerte gegen einen hinreichend konstanten Wert konvergieren. Diesen Wert definieren wir als den Mittelwert von $\triangle\varrho_x$ und ϱ_x für die betrachtete Beobachtungszeit.

Für die Beobachtungszeit können wir dann sagen: Die mathematische Wahrscheinlichkeit dafür, daß die x-Koordinate sich im Gebiete dx befindet, ist

$$P_{dx} = \frac{\overline{\triangle\varrho_x}}{\overline{\varrho_x}}.$$

Wenn wir nun die x-Bewegung des Moleküls in einer Zeit verfolgen, die größer als die Beobachtungszeit ist, so können zwei Möglichkeiten eintreten:

1) Gibbs, Elementary Principles in Statistical Mechanics; siehe auch P. Debye, Ann. d. Phys. 33, 441, 1910.

1) A. Einstein, Ann. d. Phys. 11, 172, 1903; 14, 357, 1904.

1. Die Wahrscheinlichkeit P_{dx} bleibt für jedes Element dx konstant. In diesem Falle sagt man, daß statistisches Gleichgewicht eingetreten ist, d. h. das mittlere Verhalten des Moleküls bleibt immer dasselbe, unabhängig von der Zeit.

2. Die Wahrscheinlichkeit P_{dx}, die für die Beobachtungszeit konstant ist, kann sich mit der Zeit ändern. In diesem Falle ist statistisches Gleichgewicht nicht vorhanden, aber man kann trotzdem für eine relativ kurze Beobachtungszeit von einer Wahrscheinlichkeit P_{dx} sprechen.

Wenn wir in derselben Weise die y-Bewegung verfolgen, so finden wir die Wahrscheinlichkeit, daß das Molekül sich im Gebiete dy befindet, gleich

$$P_{dx} = \frac{\overline{\triangle \varrho_y}}{\overline{\varrho_y}},$$

wo $\overline{\varrho_y}$ das mittlere Zeitintervall zwischen zwei Besuchen in dem Gebiete dy ist und $\overline{\triangle \varrho_y}$ die mittlere Zeit, die das Molekül braucht, um das Gebiet dy zu durchlaufen.

Wir fragen nun nach der Wahrscheinlichkeit eines Gebietes $dx\,dy$, d. h. der Wahrscheinlichkeit dafür, daß sich zugleich x im Gebiete dx und y im Gebiete dy befindet. In dem vorliegenden Falle ist diese Wahrscheinlichkeit offenbar

$$P_{dx\,dy} = P_{dx} \cdot P_{dy}.$$

Man sagt in diesem Falle, daß die zwei Koordinaten voneinander unabhängig sind. Die Koordinaten haben je einen ganzen Freiheitsgrad.

Wenn wir nun weiter die z-Bewegung des Moleküls berücksichtigen, so finden wir die mathematische Wahrscheinlichkeit dafür, daß das Molekül sich in einem Raumelement $d\tau = dx\,dy\,dz$ befindet, gleich

$$P_{d\tau} = P_{dx} \cdot P_{dy} \cdot P_{dz}.$$

Nun ist aber der Zustand des Moleküls nicht vollständig bestimmt durch die Lage allein. Wir müssen auch die Geschwindigkeiten $\dot{x}$, $\dot{y}$ und $\dot{z}$ in Betracht ziehen. Wenn wir nun diese Koordinaten in eben derselben Weise wie die anderen behandeln, so finden wir für die Wahrscheinlichkeit, daß zugleich

x	im	Gebiete	dx
y	„	„	dy
z	„	„	dz
$\dot{x}$	„	„	$d\dot{x}$
$\dot{y}$	„	„	$d\dot{y}$
$\dot{z}$	„	„	$d\dot{z}$

ist, den Ausdruck

$$P_{d\tau} = P_{dx}\,P_{dy}\,P_{dz}\,P_{d\dot{x}}\,P_{d\dot{y}}\,P_{d\dot{z}}.$$

Dies ist also die mathematische Wahrscheinlichkeit des Gebietes

$$d\tau = dx\,dy\,dz\,d\dot{x}\,d\dot{y}\,d\dot{z}.$$

Ganz wie die Gebiete dx, dy, dz ein dreidimensionales Raumelement definieren, so definieren die Gebiete dx, dy, dz, $d\dot{x}$, $d\dot{y}$, $d\dot{z}$ ein sechsdimensionales Raumelement.

Die Koordinaten x, y, z definieren einen Punkt in dem dreidimensionalen x-y-z-Raum. Ebenso definieren die Koordinaten x, y, z, $\dot{x}$, $\dot{y}$, $\dot{z}$ einen Punkt in dem sechsdimensionalen x-y-z-$\dot{x}$-$\dot{y}$-$\dot{z}$-Raum. $P_{d\tau}$ ist die Wahrscheinlichkeit dafür, daß der Zustand des Moleküls — d. h. der Punkt — sich in dem Element $d\tau$ befindet.

Wir greifen nun das Problem generell an. Es sei irgendein System gegeben, dessen Zustand bestimmt ist durch die unabhängigen Variabeln

$$p_1 p_2 \cdots p_n$$

und dessen Zeit derivierte

$$\dot{p}_1 \dot{p}_2 \cdots \dot{p}_n.$$

Für ein solches System kann man anstatt der Koordinaten $\dot{p}$ einige damit proportionnle Koordinaten q benutzen. Die Koordinate q ist definiert durch

$$q = \frac{\partial T}{\partial \dot{p}}$$

wo T die von $\dot{p}$ abhängende Energie des Systems ist. Der Zustand des Systems in einem gegebenen Augenblicke ist also bestimmt durch die Werte der Koordinaten

$$p_1 \cdots p_n q_1 \cdots q_n.$$

Um die Vorstellungen zu erleichtern, denken wir uns einen Raum, der ebensoviele Dimensionen hat als das System unabhängige Koordinaten, also $2n$-Dimensionen. In diesem Raume denken wir uns $2n$-Achsen von demselben Punkte senkrecht zueinander gezeichnet. Auf jeder Achse wird der augenblickliche Wert der zugehörigen Koordinate abgetragen. Die augenblicklichen Werte der einzelnen Koordinaten definieren zusammen einen Punkt in dem $2n$-dimensionalen Raume, und die Zustandsänderung des Systems wird illustriert durch die Kurve, die der Punkt beschreibt.

Mittels Ebenen, die durch die Teilungspunkte der einzelnen Achsen gehen und die auf den zugehörigen Achsen senkrecht stehen, wird der $2n$-dimensionale Raum in eine Reihe von $2n$-dimensionalen Elementarzellen geteilt — alle von derselben Größe.

Wir machen die folgenden Ansätze:

I. Jedes Gebiet einer einzelnen Koordinate hat eine bestimmte mathematische Wahr-

scheinlichkeit, die sich längs der Koordinatenachse ändern kann, aber in kontinuierlicher Weise.

II. Diese Wahrscheinlichkeiten sollen sich nicht zu schnell mit der Zeit ändern.

Die letzte Voraussetzung spricht aus, daß das System nicht zu weit von dem Gleichgewichtszustande entfernt sein darf.

Es sei P_{dp_1} die Wahrscheinlichkeit des Gebietes dp_1, P_{dp_2} die des Gebietes dp_2 usw., und es sei $P_{d\tau}$ die Wahrscheinlichkeit des Gebietes

$$d\tau = dp_1 \cdots dp_n dq_1 \cdots dq_n.$$

Da die Koordinaten voneinander unabhängig sind[1]), so muß diese Wahrscheinlichkeit — infolge des früher Gesagten — die Form haben

$$P_{d\tau} = P_{dp_1} P_{dp_2} \cdots P_{dq_n}.$$

Es sei t die Zeit, welche notwendig ist, um die eventuelle Wahrscheinlichkeit $P_{d\tau}$ zu bestimmen. Wenn die Wahrscheinlichkeiten P_{dp_1}, P_{dp_2} usw. sich so langsam ändern, daß sie in der Zeit t als konstant betrachtet werden können, so folgt, daß die Wahrscheinlichkeit $P_{d\tau}$ einen bestimmten Wert haben muß. Das System verhält sich quasi-periodisch, es kehrt so oft zu dem Elemente zurück, daß man von einer Wahrscheinlichkeit dieses Elementes sprechen kann.

Wir wollen nun diese Wahrscheinlichkeit berechnen. Das System befinde sich in einem Punkt an der Grenze des Elementes. Es geht durch das Element und braucht hierzu die Zeit $\triangle\varrho_1$. Danach geht es durch $W_1 - 1$ andere Elemente, bevor es zum ersten zurückkommt, und braucht zu diesem Kreislauf die Zeit ϱ_1. Dieser Kreislauf wiederholt sich nun fortlaufend. Zu dem zweiten Kreislauf braucht das System ϱ_2 Sek., darunter $\triangle\varrho_2$ in dem betrachteten Elemente und die Anzahl der Elemente, die es durchläuft, ist W_2. Wenn das System eine hinreichend große Zahl von solchen Kreisläufen zurückgelegt hat, fangen wir an, die folgenden Mittelwerte zu bilden:

$$\overline{\varrho_\nu} = \frac{1}{\nu}(\varrho_1 + \varrho_2 + \cdots + \varrho_\nu)$$

$$\overline{\triangle\varrho_\nu} = \frac{1}{\nu}(\triangle\varrho_1 + \triangle\varrho_2 + \cdots + \triangle\varrho_\nu)$$

und

$$\overline{W_\nu} = \frac{1}{\nu}(W_1 + W_2 + \cdots + W_\nu).$$

Für die Zeit, welche notwendig ist, um diese relativ konstanten Mittelwerte zu bilden, können wir dann sagen: die mathematische Wahrscheinlichkeit dafür, daß das System sich in dem Elemente $d\tau$ befindet, ist

$$P = \frac{\overline{\triangle\varrho}}{\overline{\varrho}},$$

wo $\overline{\triangle\varrho}$ und $\overline{\varrho}$ die gefundenen Mittelwerte sind. Über die Größe von $d\tau$ ist vorläufig nichts vorausgesetzt. Wir werden später die Frage nach seiner Größe näher diskutieren. Die obige Gleichung kann in der folgenden Form geschrieben werden

$$P = D\,d\tau$$

wo

$$D = \frac{\overline{\triangle\varrho}}{\overline{\varrho}\,d\tau}.$$

Die Konstante D ist die Fundamentalgröße der Statistik. Wir können sie die Wahrscheinlichkeitsdichte nennen, weil sie — wie man sieht — die Wahrscheinlichkeit pro Volumeinheit angibt.

Das Problem der Statistik ist nun, diese Wahrscheinlichkeitsdichte D als Funktion der Koordinaten zu berechnen.

Wir verfolgen die Bewegung des Systems durch eine Zeit, die größer ist als die, welche notwendig war, um die Wahrscheinlichkeit zu bestimmen. Zwei Möglichkeiten liegen dann vor

1. Die Wahrscheinlichkeitsdichte D bleibt konstant,
2. sie ändert sich.

Im ersten Falle ist das System in statistischem Gleichgewicht, d. h. die verschiedenen Mittelwerte des Systems bleiben konstant unabhängig von der Zeit.

Wir werden zuerst den zweiten Fall betrachten, daß D sich ändert.

Da die Summe aller mathematischen Wahrscheinlichkeiten immer gleich 1 sein muß, so ist

$$\int D\,d\tau = 1,$$

wo die Integration über den ganzen Zustandsraum zu unternehmen ist.

Da überdies D eine skalare, kontinuierliche Größe ist, die nur von den Koordinaten und der Zeit abhängt, können wir auf D die Kontinuitätsgleichung anwenden.

Wenn z. B. D eine materielle Dichte wäre, so hätte die Kontinuitätsgleichung die Form

$$-\frac{\partial D}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}(D\dot{x}) + \frac{\partial}{\partial y}(D\dot{y}) + \frac{\partial}{\partial z}(D\dot{z}),$$

welche Gleichung ausspricht: Die Verminderung der Dichte pro Sekunde ist gleich dem, was in einer Sekunde aus der Volumeneinheit herausströmt.

Ganz analog hat für die Wahrscheinlichkeits-

1) In einigen Fällen hängt der Mittelwert einer Koordinate p von dem Mittelwert der zugehörigen Koordinate q ab. Die Zahl der unabhängigen Koordinaten wird dann nur n und ebenso die Zahl der Faktoren in $d\tau$. Man hat sich dann zwei und zwei der obigen Koordinaten und Elemente zu einem einzigen vereint zu denken.

dichte in dem $2n$-dimensionalen Raume die Kontinuitätsgleichung die Form

$$-\frac{\partial D}{\partial t}=\sum\frac{\partial}{\partial p}(D\dot{p})+\sum\frac{\partial}{\partial q}(D\dot{q})$$

oder

$$\frac{\partial D}{\partial t}dt+\sum\left[\frac{\partial D}{\partial p}dp+\frac{\partial D}{dq}dq\right]=$$

$$-\sum D\left(\frac{\partial\dot{p}}{\partial p}+\frac{\partial\dot{q}}{\partial q}\right)dt.$$

Dieses Resultat ist rein statistisch. Bisher ist das System keinen speziellen physikalischen Bedingungen unterworfen worden. Wir wollen nun die Bedingung einführen, daß das System sich nach den Gesetzen der Mechanik bewegen soll.

Wenn das System isoliert ist, d. h. sich selbst ganz überlassen, so ist die Totalenergie u des Systems konstant. Dann können die Gesetze der Mechanik in der Hamiltonschen Form geschrieben werden:

$$\dot{p}=\frac{\partial u}{\partial q}\quad\text{und}\quad\dot{q}=-\frac{\partial u}{\partial p},$$

die auch für die Mittelwerte der $\dot{p}$ und $\dot{q}$ gelten müssen. Führen wir diese Gleichungen in die obige ein, wird die rechte Seite gleich Null und wir haben:

$$\frac{\partial D}{\partial t}dt+\sum\left[\frac{\partial D}{\partial p}dp+\frac{\partial D}{\partial q}dq\right]=0. \qquad (1)$$

Das erste Glied hat die Form eines lokalen Differentials von D und das zweite Glied hat die Form eines stationären Differentials von D. Infolge der Voraussetzung II ist das lokale Differential gleich Null für eine Beobachtungszeit. Folglich muß auch das stationäre Differential gleich Null sein. Dies bedeutet, daß sich das System während eines Kreislaufes in jedem der W-Elemente durchschnittlich gleich lange aufhält, nämlich die Zeit $\triangle\varrho$. Also wird die Zeit des Kreislaufes $\varrho=W\triangle\varrho$, das gibt

$$D=\frac{1}{W\,d\,\tau}. \qquad (2)$$

Diese Gleichung ermöglicht es nun, etwas über die Änderung von D auszusprechen. W bedeutet die Anzahl der mikroskopischen Zustände oder Elemente $d\tau$, die das System durchläuft. Je verwickelter die mikroskopischen Vorgänge sind, desto größer ist W. Wir können, streng genommen, nichts darüber aussprechen, in welcher Weise sich W ändert. Aber wir müssen es — in Übereinstimmung mit Boltzmann — als wahrscheinlich ansehen, daß die Änderung in der Weise vor sich geht, daß die mikroskopischen Vorgänge immer verwickelter werden. Unter dieser Voraussetzung muß W immer wachsen, und die Wahrscheinlichkeitsdichte D folglich immer abnehmen.

Wenn das absolute statistische Gleichgewicht erreicht ist, hat W sein Maximum und D sein Minimum erreicht.

Die Gleichgewichtsbedingung ist also

$$\frac{\partial D}{\partial t}=0,$$

d. h. nach (1)

$$\sum\left(\frac{\partial D}{\partial p}\dot{p}+\frac{\partial D}{\partial q}\dot{q}\right)=0.$$

Wenn wir berücksichtigen, daß Koordinaten mit verschiedenem Index voneinander unabhängig sind, und wenn wir Hamiltons Gleichungen einführen, läßt sich die Bedingungsgleichung leicht auf die Form bringen

$$\left(\frac{\partial D}{\partial u}\right)_q=\left(\frac{\partial D}{\partial u}\right)_p,$$

woraus folgt: die Wahrscheinlichkeitsdichte hängt von den Koordinaten p und q nicht direkt ab, sondern nur von der Energie des Systems

$$D=f(u).$$

Um nun weiter diese Funktion zu finden, gehen wir in der folgenden Weise vor:

Wir teilen die Koordinaten des Systems in zwei Gruppen[1]). Mittels spezieller Einrichtungen, z. B. Scheidewänden, werden die Variationen der Koordinaten so begrenzt, daß jede Koordinatengruppe sich immer in ihrem eigenen Variationsgebiet bewegt. Die Energie, die von der ersten Koordinatengruppe repräsentiert wird, sei u_1, die andere u_2.

Das Element $d\tau$ kann geschrieben werden als das Produkt zweier kleinerer Elemente $d\tau_1$ und $d\tau_2$

$$d\tau=d\tau_1\,d\tau_2,$$

wo $d\tau_1$ in dem Variationsgebiet der ersten Koordinatengruppe liegt und $d\tau_2$ im Gebiet der zweiten Koordinatengruppe.

Die Wahrscheinlichkeitsdichte des Elementes $d\tau$ ist

$$D=f(u)\quad\text{d. h.}\quad u=\varphi(D)$$

die Wahrscheinlichkeitsdichte des Elementes $d\tau_1$ ist

$$D_1=f_1(u_1)\quad\text{d. h.}\quad u_1=\varphi_1(D_1)$$

und die Wahrscheinlichkeitsdichte des zweiten Elementes $d\tau_2$ ist

$$D_2=f_2(u_2)\quad\text{d. h.}\quad u_2=\varphi_2(D_2).$$

Nun ist

$$u=u_1+u_2$$

1) Wie aus dem Folgenden hervorgeht, ist es hinreichend, daß diese Teilung für ein einziges System möglich ist.

und

$$D = D_1 D_2$$

und diese Gleichungen geben

$$\varphi(D_1 D_2) = \varphi_1(D_1) + \varphi_2(D_2).$$

Wir denken uns nun, daß u_1 eine kleine Änderung erleidet, aber doch in solcher Weise, daß die zwei Systeme fortwährend im Gleichgewicht bleiben. Diese Änderung wird mathematisch ausgesprochen durch eine Differentation der Gleichung nach D_1. Die Gleichung gibt dann

$$D_2 \varphi'(D_1 D_2) = \varphi_1'(D_1).$$

Danach lassen wir ebenso u_2 eine kleine Änderung erfahren, das entspricht also einer Differentation der Gleichung nach D_2. Dies gibt

$$D_1 D_2 \varphi''(D_1 D_2) + \varphi'(D_1 D_2) = 0$$

d. h.

$$D\varphi''(D) + \varphi'(D) = 0^1).$$

Die allgemeine Lösung dieser Gleichung ist

$$D = e^{a u + b},$$

wo a und b zwei Konstanten sind. Hierbei ist nun das Folgende zu bemerken. Die Konstanten a und b sind unabhängig von u. Dies gilt aber nur unter der Voraussetzung, daß die Temperatur konstant geblieben ist, denn sonst wäre kein Gleichgewicht vorhanden. Die Konstanten a und b sind also unabhängig von u, wenn die Temperatur konstant bleibt; sonst können sie Funktionen von u sein.

Über die relative Größe der Elemente $d\tau_1$ und $d\tau_2$ ist nichts vorausgesetzt worden. Daraus müssen wir schließen, daß die gefundene Funktion gültig ist, selbst wenn keine Teilung des Gebietes $d\tau$ vorgenommen wurde.

Also kann die Wahrscheinlichkeitsdichte in einem System geschrieben werden

$$D_1 = e^{a_1 u_1 + b_1}$$

und die Wahrscheinlichkeitsdichte in einem anderen System ist

$$D_2 = e^{a_2 u_2 + b_2}.$$

Bringen wir nun diese zwei Systeme miteinander in Kontakt, so wird die Wahrscheinlichkeitsdichte des Doppelsystems gleich

$$D = D_1 D_2 = e^{a_1 u_1 + a_2 u_2 + b_1 + b_2}.$$

Aber wenn das ganze System im Gleichgewicht ist, so muß D die Form haben

$$D = e^{a(u_1 + u_2) + b}.$$

Diese zwei Gleichungen können nebeneinander nur dann bestehen, wenn

$$a = a_1 = a_2$$

d. h., wenn zwei willkürliche Systeme miteinander im Gleichgewicht sind, so muß der Koeffizient a in beiden Systemen denselben Wert haben. Dies kann mit anderen Worten so ausgesprochen werden: Der Koeffizient a hängt nur von der Temperatur ab.

Von der Konstante b wissen wir, daß, wenn die Temperatur konstant bleibt, sie nicht von u abhängt. Dann kann b nur von den Koordinaten p abhängen, denn diese können sich in gewissen Fällen ändern, ohne daß die Energie geändert wird. Die Konstante b wird dann, in den in Betracht kommenden Fällen, nur von den Grenzen des Variationsgebietes der Koordinaten p abhängen. Das ganze Variationsgebiet, innerhalb dessen die Koordinaten p sich frei bewegen können, ohne die Energie des Systems zu ändern, wollen wir den freien Raum oder das freie Volumen des Systems nennen. Die Konstante b hängt also nur von dem freien Volumen ab.

Wir werden nun a bestimmen.

Da a denselben Wert für alle Systeme der nämlichen Temperatur hat, so können wir ein ganz beliebiges System zur Bestimmung von a wählen. Wir wählen das leichtest mögliche, ein ideales einatomiges Gas. Nach der kinetischen Gastheorie gilt für ein solches System

$$u = \frac{3}{2} \nu k T = \frac{3}{2} \nu m \overline{\dot{x}^2} = \frac{3}{2} \nu m (\bar{\dot{x}})^2 \frac{3\pi}{8}.$$

Hier bedeutet

ν die Zahl der Moleküle,
k die Gaskonstante pro Molekül,
m die Masse eines Moleküls,
T die absolute Temperatur.

Nun ändern wir $\bar{\dot{x}}$ um einen solchen Betrag, daß auch u eine merkbare Änderung erfährt. Wenn $\bar{\dot{x}}$ in einem gewissen Verhältnis geändert wird, so wird $\bar{q}$ in demselben Verhältnis geändert. Dann muß sich die Wahrscheinlichkeit, daß eine variable Koordinate q in ein bestimmtes Element dq fällt, in dem umgekehrten Verhältnis geändert haben. Nun enthält das Element $d\tau$ als Faktoren 3ν Elemente dq. Folglich hat sich die Wahrscheinlichkeit, daß alle Koordinaten q in das Element $d\tau$ fallen, geändert, und zwar in dem erwähnten umgekehrten Verhältnisse in der 3νten Potenz. Wenn wir alle Größen nach der Änderung mit einem Strich versehen, so haben wir also

$$\frac{P}{P'} = \frac{D}{D'} = \frac{e^{a u}}{e^{a' u'}} = \left(\frac{\bar{q}'}{\bar{q}}\right)^{3\nu} = \left(\frac{u'}{u}\right)^{\frac{3\nu}{2}}$$

woraus

$$a u + \frac{3\nu}{2} \log u = a' u' + \frac{3\nu}{2} \log u' = \text{konstant}.$$

1) Vgl. Plancks Ausführung: Wenn die Entropie S eine Funktion von w ist, so gilt

$$W S''(W) + S'(W) = 0.$$

(Vorl. über die Theorie der Wärmestrahlung S. 117.)

Durch Differentiation der Gleichung erhalten wir

$$d(au) = -\frac{3}{2}\frac{v\,du}{u} = -\frac{du}{kT}$$

d. h.

$$au = -\int^{T} \frac{du}{kT},$$

wo wir vorläufig die untere Grenze unbestimmt lassen.

In ganz analoger Weise kann nun die Größe b bestimmt werden. Wir halten die Energie und die Temperatur konstant und ändern das freie Volumen des Systems. Durch ganz dieselbe Methode wie früher finden wir dann

$$b = -\int^{v} \frac{v\,dv}{v}.$$

Also haben wir

$$D = e^{-\int^{T}\frac{du}{kT} - \int^{v}\frac{\nu}{v}dv}.$$

Dieses Resultat ist richtig unter der Voraussetzung, daß das System sich in Übereinstimmung mit Hamiltons Gleichungen bewegt und ein freies Volumen hat. Ein solches System ist ein ideales Gas. Es sei D' die Wahrscheinlichkeitsdichte und u' die Energie eines idealen Gases, dessen Molekülzahl ν' ist und dessen Volumen v'. Es sei weiter D die Wahrscheinlichkeitsdichte und u die Energie eines ganz beliebigen Systems, das nicht den Hamiltonschen Gleichungen zu folgen braucht, und es sei v sein Volumen, das nicht frei zu sein braucht. Das einzige, was wir von dem System voraussetzen müssen, ist, daß es fähig ist, mit dem idealen Gase im Gleichgewicht zu sein.

Bringen wir also unser System mit dem Gase in Kontakt und betrachten wir die zwei Systeme als ein einziges, so ist für dieses System die Wahrscheinlichkeitsdichte

$$D'' = DD' = De^{-\int^{T}\frac{du'}{kT} - \int^{v}\frac{\nu'}{v'}dv'}.$$

Die Gleichgewichtsbedingung ist nun

$$dD'' = 0,$$

das gibt

$$d\log D = \frac{du'}{kT} + \frac{\nu'}{v'}dv'$$

$$= -\frac{du}{kT} - \frac{\nu'}{v'}dv.$$

Es gilt also für ein ganz beliebiges System

$$D = e^{-\int^{T}\frac{du}{kT} - \int^{v}\frac{\nu'}{v'}dv}.$$

Wenn das System ein freies Volumen hat, bezieht sich der Faktor $\frac{\nu'}{v'}$ auf das System selbst; sonst bezieht er sich immer auf ein Gas, das mit dem System im Gleichgewicht steht.

Dieses Resultat ist nicht ganz neu. Maxwell und Boltzmann haben für ein ideales Gas eine Formel gefunden, die in der folgenden Weise geschrieben werden kann

$$D = A\,e^{-\frac{u}{kT}},$$

wo A eine Konstante ist. Später haben Gibbs[1]) und unabhängig von ihm Einstein[2]) und Jeans[3]) analoge Formeln abgeleitet. Man hat dieser Formel allgemeine Gültigkeit zugeschrieben, und sie bildet die Basis der klassischen Statistik.

Es ist aber hierbei zu bemerken, daß man sehr leicht von der ersten Formel zu der letzten gelangen kann, aber nicht umgekehrt.

Die Überbrückung zu der klassischen Entropie folgt nun sehr einfach.

Bilden wir die Funktion

$$S = k\log\frac{1}{D} = \int\frac{du}{T} + \int\frac{\nu'}{v'}k\,dv$$

und führen wir hier den Druck des Gases

$$p = \frac{\nu'}{v'}kT$$

ein, so folgt

$$S = \int\frac{du + p\,dv}{T}.$$

Die Funktion S ist also mit der klassischen Entropie identisch. Als allgemeine Definition der Entropie haben wir dann die drei folgenden Formeln

$$S = k\log\frac{1}{D} = k\log(W d\tau) = \int\frac{du + p\,dv}{T}.$$

Wenn man nun voraussetzt, daß diese Identifizierung richtig ist, so kann man fragen: welche Bedeutung hat nun ein solches Resultat?

Die Bedeutung liegt darin, daß der Entropiebegriff auf eine ganz konkrete Vorstellung zurückgeführt ist. Die Wahrscheinlichkeitsdichte D ist nämlich eine ganz konkrete Größe, die wir uns vorstellen können. Da die Wahrscheinlichkeitsdichte D einen ganz bestimmten Wert hat, so muß auch S einen bestimmten endlichen Wert haben. Dies ist nun eben, was das Nernstsche Theorem ausspricht, und es läßt sich leicht zeigen, daß Nernsts Theorem mit

1) Loc. cit.
2) Loc. cit.
3) Jeans, The dynamical theory of Gases, S. 59.

der obigen Entropiedefinition in Übereinstimmung steht.

Vergleichen wir nun die obige Definition mit der Definition nach Boltzmann und Planck.

Für ein ideales Gas hat Boltzmann die folgende Formel gefunden

$$S = \log W + C, \quad C = \text{Konstante}.$$

Boltzmann nennt W die Wahrscheinlichkeit des Systems. Es läßt sich zeigen, daß Boltzmanns W mit dem obigen W identisch ist. Die obige Definition ist also mit Boltzmanns Definition in Übereinstimmung mit Ausnahme der Konstante k.

Planck hat Boltzmanns Formel erweitert, indem er als Definition der Entropie die Formel annimmt

$$S = k \log W,$$

welche Formel nicht nur für Gase, sondern auch für irgendein physikalisches System gelten soll.

Wenn man die Planck'sche Definition annimmt, muß man folgendermaßen schließen:

Nach Nernst hat S und also auch W einen endlichen bestimmten Wert. Nun ist aber die Größe W abhängig von der Größe des Elementargebietes $d\tau$. Folglich muß auch $d\tau$ einen endlichen ganz bestimmten Wert haben.

Dies ist die Quantenhypothese in der allgemeinsten Form.

Nach der obigen Entropiedefinition dagegen scheint die Sache anders zu sein. Man wird das folgende ausführen: wenn $d\tau$ hinreichend klein ist, muß W und $d\tau$ einander umgekehrt proportional sein, so daß die Größe $Wd\tau$ von $d\tau$ unabhängig ist. Folglich kann $d\tau$ beliebig klein gewählt werden ohne daß dies den geringsten Einfluß auf S hat.

Von einem rein mathematischen Standpunkte aus ist diese Ausführung richtig, physikalisch aber nicht. Das System kann nämlich solchen physikalischen Bedingungen unterworfen sein, daß $d\tau$ nicht willkürlich klein gewählt werden kann. Eine spezielle Untersuchung[1]) zeigt, daß dies eben der Fall ist. Wenn man nämlich die Existenz einer endlichen Nullpunktsenergie voraussetzt, so muß man $d\tau$ gleich Z_0 wählen, wo Z_0 der Nullpunktswert des Zustandsvolumens ist.

Man vermindert die Entropie soviel wie möglich dadurch, daß man das Zustandsvolumen[1]) des Systems so klein wie möglich macht. Es sei das minimale Zustandsvolumen Z_0. Die Entropie in dem Minimalzustande ist dann nach der allgemeinen Entropiedefinition

$$S_0 = k \log Z_0.$$

Wenn man hierzu die stattgefundenen Entropieminderungen addiert, bekommt man den absoluten Wert der Entropie. Die Entropie besteht also aus zwei Teilen, einem variablen, meßbaren Teil und einer Konstante, die Minimalentropie S_0. Diese Konstante spielt aber für die gewöhnlichen Anwendungen der Entropie keine Rolle. Wir werden sie deshalb hier weglassen und als Entropie nur die variable und meßbare Entropie ansehen.

Nach der statistischen Mechanik[2]) kann die Entropie in der folgenden Form geschrieben werden

$$S = \int^{T} \frac{dU}{T} + k \int^{v} \frac{\nu_1}{v_1} dv = \int \frac{dU + p\,dv}{T}.$$

Hier bedeutet U die Energie des Systems, k die Gaskonstante pro Molekül, v das Volumen des Systems und $\frac{\nu_1}{v_1}$ die Molekülzahl pro Volumeneinheit in einem idealen Gase, das mit dem System in Gleichgewicht ist.

Für Molekularbewegungen, die ohne Änderung der Energie verlaufen, kann $\frac{\nu_1}{v_1}$ durch $\frac{\nu}{v}$ ersetzt werden, wo ν die Molekülzahl des Systems ist.

Wir bemerken, daß die Entropie infolge der obigen Definition in zwei Glieder gespaltet werden kann. Das erste Glied hängt nur von der Energie ab und kann als die Energie-Entropie bezeichnet werden. Das zweite Glied hängt nur von dem Volumen ab und kann die Volumen-Entropie genannt werden. Beide können zusammen in der obigen klassischen Form geschrieben werden. Um die Entropie nach der obigen Definition zu berechnen, suchen wir sie möglichst viel zu vermindern. Die Summe aller Verminderungen ist dann die gesuchte Entropie.

Die Entropieverminderung geschieht einerseits durch eine größtmögliche Abkühlung (Einschränkung des Variationsgebietes der q-Koordinate und der von der Energie abhängenden p-Koordinate). Andererseits geschieht sie durch eine Einschränkung der Bewegungsfreiheit der Moleküle (Verminderung des Variationsgebietes der von der Energie unabhängigen p-Koordi-

1) „Die statistisch-mechanische Grundlage der allgemeinen Quantentheorie" erscheint in einer der folgenden Nummern dieser Zeitschrift.

(Eingegangen 6. März 1916.)

Die Entropie materieller Systeme.

Von Th. Wereide.

Die Entropie eines physikalischen Systems kann ganz allgemein in der folgenden Weise berechnet werden:

1) Vgl. die vorhergehende Abhandlung.

2) Loc. cit. oder „Statistical Theory of Energy and Matter". Kristiania, Gyldendalske Boghandel, Nordisk Forlag.

nate). Im kondensierten Zustande sind die physikalischen Eigenschaften der Moleküle praktisch dieselben bei der absoluten Temperatur 1^0 wie bei dem absoluten Nullpunkt. Wir werden deshalb in dem Folgenden, wo es zweckmäßig ist, die Temperatur 1^0 als die praktisch erreichbare Minimaltemperatur ansehen.

Die Entropie eines homogenen festen Körpers.

Wenn wir den Körper zu der absoluten Temperatur $T = 1^0$ abkühlen, wird die Energieentropie praktisch soviel wie möglich vermindert. Da eine meßbare Einschränkung der Bewegungsfreiheit der Moleküle praktisch unmöglich ist, kann eine weitere Verminderung der Entropie nicht vorgenommen werden. Die Entropie des festen, homogenen Körpers wird also

$$S = \nu \int_1^T \frac{\sigma dT}{T},$$

wo ν die Zahl der Moleküle bedeutet und σ die spezifische Wärme pro Molekül.

Die Entropie einer homogenen Flüssigkeit.

Wir werden zuerst die Volumenentropie berechnen. Wie oben gesagt, kann man für Molekularbewegungen, die ohne Änderungen der Energie verlaufen, die Volumenentropie durch die Formel

$$k \int_{\cdot}^{v} \frac{\nu}{v} dv$$

ausdrücken. Wir teilen das Volumen v der Flüssigkeit in eine Reihe kleinerer Volumina v_1, v_2, ... welche beziehungsweise ν_1, ν_2, ... Moleküle enthalten. Durch diese Einschränkung der Bewegungsfreiheit der Moleküle bekommt die Volumenentropie der Moleküle ν_1 eine Verminderung gleich

$$k\nu_1 \int_{v_1}^{v} \frac{dv}{v} = k\nu_1 \log \frac{v}{v_1},$$

wo v das totale Volumen ist. Eine analoge Verminderung entspricht auch den anderen Molekülgruppen, so daß die totale Verminderung wird

$$\Sigma k\nu_1 \log \frac{v}{v_1}.$$

Wir wollen diese Entropie die innere Volumenentropie nennen, weil sie auf einer inneren Bewegung der Flüssigkeitsmoleküle beruht. Die größtmögliche Verminderung bekommen wir, wenn wir die Partialvolumina v_1 von der Größenordnung der Molekularvolumina ω_1 machen. Dann wird die Volumenentropie

$$\Sigma k\nu_1 \log \frac{v}{\omega_1}.$$

Die Energieentropie wird dann durch Abkühlung zu der Temperatur 1^0 vermindert, und diese Verminderung ist

$$\Sigma\nu_1 \int_1^T \frac{\sigma_1 dT}{T} + \Sigma\nu_1 \frac{\mu_1}{T_0},$$

wo σ_1 die spezifische Wärme pro Molekül bedeutet und μ_1 die molekulare Schmelzwärme bei der Schmelztemperatur T_0.

Durch diese Abkühlung wird das Flüssigkeitsvolumen v eine kleine Verminderung bekommen, welche eine kleine Verminderung der Volumenentropie zur Folge hat. Wir können aber dieser Verminderung dadurch Rechnung tragen, daß wir ω in der Formel der Volumenentropie auf die Temperatur 1^0 beziehen.

Als die Entropie der Flüssigkeit haben wir die Summe der zwei obigen Verminderungen anzusehen, also

$$S = \Sigma\nu_1 \int_1^T \frac{\sigma_1 dT}{T} + \Sigma\nu_1 \frac{\mu_1}{T_0} + \Sigma k\nu_1 \log \frac{v}{v_1}.$$

Bei dieser Formel ist aber zu bemerken, daß das letzte Glied, die Volumenentropie, nicht gemessen werden kann. Ob sich nämlich die Moleküle von einem Orte zum anderen bewegen, oder ob diese Bewegung begrenzt wird, so ist diese Einschränkung mit keinen meßbaren physikalischen Änderungen verbunden, weil die Moleküle einander gleich sind. Wenn wir eine praktische Formel haben wollen, so müssen wir dies Glied der Volumenentropie weglassen, und wir bekommen dann als brauchbare Formel der Entropie

$$S = \Sigma\nu_1 \int_1^T \frac{\sigma_1 dT}{T} + \Sigma\nu_1 \frac{\mu_1}{T_0}.$$

Die Entropie einer flüssigen Lösung.

Es seien die Zahlen der verschiedenen Moleküle der Lösung ν_1, ν_2, ..., und wir setzen voraus, daß sie sich alle in dem ganzen Volumen der Flüssigkeit bewegen können.

Untersuchen wir zunächst die Volumenentropie.

Die Moleküle ν_1 werden in einem Partialvolumen v_1 gesammelt, ebenso die Moleküle ν_2 in dem Partialvolumen v_2. Durch diese Einschränkung der Bewegungsfreiheit bekommt die Volumenentropie, ganz wie oben, eine Verminderung

$$\Sigma\nu_1 k \log \frac{v}{v_1}.$$

Diese Entropieverminderung ist meßbar, weil die Molekülgruppen verschieden sind. Eine weitere Zerteilung der Partialvolumina würde dagegen keine meßbare Entropieänderung geben, weil diese Volumina homogen sind.

Die Energieentropie wird offenbar dieselbe Form haben wie im vorigen Falle, und wir finden dann als Ausdruck für die meßbare Entropie der Lösung

$$S = \Sigma \nu_1 \int_1^T \frac{\sigma_1 \, dT}{T} + \Sigma \nu_1 \frac{\mu_1}{T_0} + \Sigma \nu_1 k \log \frac{v}{v_1}.$$

Die hier auftretende spezifische Wärme σ_1 und die Schmelzwärme μ_1 beziehen sich auf die Moleküle in gelöstem Zustande. Sie werden also von den entsprechenden Größen im homogenen Zustande gewöhnlich etwas verschieden sein.

Da

$$\frac{v}{v_1} = \frac{v \, \nu_1}{\nu_1 \, v} = \frac{1}{c_1 \, \omega_1} = \frac{1}{h_1 c \, \omega_1},$$

wo ω_1 das Molekularvolumen, c_1 die Konzentration, c die totale Molekülzahl pro Volumeneinheit und h_1 die numerische Konzentration bedeutet, kann die obige Formel auch in der folgenden Form geschrieben werden

$$S = \Sigma \nu_1 \int_1^T \frac{\sigma_1 \, dT}{T} + \Sigma \nu_1 \frac{\mu_1}{T_0} - \Sigma \nu_1 k \log c_1 \omega_1$$

$$= \Sigma \nu_1 \int_1^T \frac{\sigma_1 \, dT}{T} + \Sigma \nu_1 \frac{\mu_1}{T_0} - \Sigma \nu_1 k \log h_1 \, c \, \omega_1.$$

Die Entropie einer festen Lösung.

Wenn man eine flüssige Lösung gefrieren läßt, so ist die einzige dabei stattfindende meßbare Änderung eine Verminderung der Energieentropie. Hieraus folgt, daß die Entropie einer festen Lösung dieselbe Form haben muß wie die einer flüssigen Lösung.

Die Entropie eines Gasgemisches.

Die Entropie eines Gasgemisches kann in der Weise gefunden werden, daß man von einem passenden Körper bei der Temperatur $T = 1^0$ ausgeht und dann diese Substanz in ein Gasgemisch von der Temperatur T überführt.

Ein solcher Körper ist ein System von homogenen Körpern, welche die Molekülzahlen $\nu_1, \nu_2, \cdots$ und beziehungsweise die Volumina $v_1, v_2, \cdots$ haben. Einem solchen Körper muß nach dem obigen die Entropie Null zugeschrieben werden.

Der Druck auf den Körper wird so klein gemacht, daß er eben gleich dem Sättigungsdruck der Moleküle ν_1 wird. Durch Wärmezufuhr werden diese Moleküle verdampft, so daß sie das Volumen v_1 in Dampfform einnehmen. Danach wird das Volumen v_1 zu v vergrößert. Diese zwei Änderungen geben den Entropiezuwachs

$$\nu_1 \pi_1 + \nu_1 k \log \frac{v}{v_1},$$

wo π_1 die (innere und äußere) Verdampfungswärme pro Molekül ist.

Wenn nun das Volumen v hinreichend groß ist, so sind während der Volumenvergrößerung alle Moleküle in Dampfform übergegangen und jeder Molekülgruppe entspricht eine Entropiezunahme von der obigen Form.

Der totale Entropiezuwachs ist also

$$\Sigma \nu_1 \pi_1 + \Sigma \nu_1 k \log \frac{v}{v_1}.$$

Wenn nun das Gasgemisch bei dem Volumen v zu der Temperatur T erwärmt wird, bekommt das Gasgemisch noch den Entropiezuwachs

$$\Sigma \nu_1 \int_1^T \frac{\sigma_{v_1} \, dT}{T}.$$

Addiert man diese zwei Änderungen, so bekommt man als Ausdruck der Entropie des Gasgemisches

$$S = \Sigma \nu_1 \int_1^T \frac{\sigma_{v_1} \, dT}{T} + \Sigma \nu_1 \pi_1 + \Sigma \nu_1 k \log \frac{v}{v_1}$$

$$= \Sigma \nu_1 \int_1^T \frac{\sigma_{v_1} \, dT}{T} + \Sigma \nu_1 \pi_1 + \Sigma \nu_1 k \log c_1 \omega_1,$$

wo c_1 die Konzentration und ω_1 das Sättigungsvolumen pro Molekül ist.

Allgemeine Formel für die Entropie materieller Systeme.

Für kondensierte Körper kann die Wärmekapazität σ gleich σ_v gesetzt werden. Dann kann die Entropie eines willkürlichen materiellen Systems in der folgenden Form geschrieben werden:

$$S = \Sigma \nu_1 \int_1^T \frac{\sigma_{v_1} \, dT}{T} + \Sigma \nu_1 \varphi_1 + \Sigma \nu \, k \log \frac{v}{v_1},$$

wo

$\varphi_1 = \pi_1$ für Gase

$\varphi_1 = \frac{\mu_1}{T_0}$ für Flüssigkeiten

und

$\varphi_1 = 0$ für feste Körper,

v_1 bedeutet das kleinste Volumen, das die Moleküle ν_1 einnehmen können, ohne daß der Aggregatzustand[1]) geändert wird. Für ein Gasgemisch bedeutet also v_1 das Partialvolumen der Moleküle ν_1 im gesättigten Zustande bei der Minimaltemperatur $T = 1^0$.

Mittels einer partiellen Integration kann die Entropie auch auf die folgende Form gebracht werden

$$S = \Sigma \nu_1 c_{v_1} \log T + \Sigma \nu_1 \varkappa_1 - \Sigma \nu_1 k \log c_1,$$

wo

$$\varkappa_1 = \varkappa_1 + k \log \frac{1}{\omega_1} - \int_1^T \frac{\partial \sigma_{v_1}}{\partial T} \log T dT$$

für Gase,

$$\varkappa_1 = \frac{\mu_1}{T_0} + k \log \frac{1}{\omega_1} - \int_1^T \frac{\partial \sigma_{v_1}}{\partial T} \log T \, dT$$

für Flüssigkeiten,

und $$\varkappa_1 = k \log \frac{1}{\omega_1} - \int_1^T \frac{\partial \sigma_{v_1}}{\partial T} \log T \, dT$$

für feste Körper.

Dabei bedeutet ω_1 immer das kleinste Volumen, das einem Molekül zur Verfügung stehen muß, wenn der Aggregatzustand nicht geändert werden soll. Für ein Gas bedeutet also ω_1 das Sättigungsvolumen pro Molekül bei $T = 1^0$.

1) d. h. als gasförmig oder kondensiert betrachtet.

(Eingegangen 6. März 1916.)

Strahlungseigenschaften des Debyeschen Modells eines Wasserstoff-Moleküls.

Von M. Wolfke.

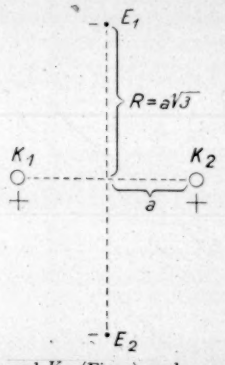
Bekanntlich hat Debye[1]) die Dispersion des Wasserstoffs durch ein Modell des Wasserstoff-Moleküls berechnet. Ich möchte hier die Strahlung dieses Modells näher untersuchen, da neuerdings auf Grund der Versuche mit Kanalstrahlen die Vermutung ausgesprochen worden ist[2]), daß die Träger der Serienlinien nicht nur die Atome, sondern auch die Moleküle sein können.

Zu diesem Zweck wähle ich den einfachsten Weg, indem ich die Bohrschen Strahlungsannahmen auf das Debyesche Modell des Wasserstoff-Moleküls direkt anwende.

Das Debyesche Modell des Wasserstoff-Moleküls besteht bekanntlich aus zwei positiven

1) P. Debye, Münch. Ber. 1915, S. 1.

2) Für Serienlinien des Sauerstoffs vgl. J. Stark, G. Wendt u. H. Kirschbaum, diese Zeitschr. **14**, 770, 1913; T. Retschinsky, Ann. d. Phys. (4) **48**, 546, 1915. Für Wasserstoffserienlinien nimmt allerdings Stark (Ann. d. Phys. (4) **49**, 179, 1916) die einfach geladenen Atome als Träger an.



Kernen K_1 und K_2 (Figur) und aus zwei Elektronen E_1 und E_2. Die beiden Elektronen rotieren auf einem Kreise in der Symmetrieebene der beiden positiven Kerne, indem sie stets auf den Enden eines Durchmessers sich gegenüber verbleiben. Der Gleichgewichtszustand wird durch folgende zwei Gleichungen bestimmt[1]):

$$\left.\begin{aligned} \frac{e^2}{4a^2} &= 2 \cdot \frac{e^2}{a^2+R^2} \cdot \frac{a}{\sqrt{a^2+R^2}}; \\ \frac{e^2}{4R^2} + \frac{mv^2}{R} &= 2 \cdot \frac{e^2}{a^2+R^2} \cdot \frac{R}{\sqrt{a^2+R^2}}; \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

wo $2a$ die Entfernung K_1K_2 der beiden positiven Kerne, $2R$ die Entfernung E_1E_2 der beiden Elektronen, v die Peripheriegeschwindigkeit der Elektronen, m die Masse eines Elektrons und e die Elementarladung bedeuten.

Die erste Gleichung ergibt:

$$a = \frac{R}{\sqrt{3}}. \quad (2)$$

Aus der zweiten Gleichung läßt sich ohne weiteres die Peripheriegeschwindigkeit v und die kinetische Energie der beiden Elektronen berechnen:

$$\left.\begin{aligned} v &= \frac{e}{2} \cdot \sqrt{\frac{3\sqrt{3}-1}{Rm}}; \\ T &= 2 \cdot \frac{mv^2}{2} = \frac{e^2}{4R}(3\sqrt{3}-1). \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

Bezeichnen wir mit E_∞ die gesamte Energie des Systems, wenn alle vier Punktladungen unendlich weit voneinander entfernt sind. Alsdann wird die potentielle Energie U des Moleküls durch folgenden Ausdruck gegeben:

$$U = E_\infty + \frac{e^2}{2a} + \frac{e^2}{2R} - 4\frac{e^2}{\sqrt{a^2+R^2}} =$$

$$E_\infty - \frac{e^2}{2R}(3\sqrt{3}-1);$$

wo die einzelnen Glieder die gegenseitigen potentiellen Energien der vier Punktladungen bedeuten.

1) Vgl. P. Debye, l. c.

Die gesamte Energie E des Moleküls ist also gleich:

$$E = T + U = E_\infty - \frac{e^2}{4R}(3\sqrt{3}-1). \quad (4)$$

Wir wollen jetzt die Bohrschen Annahmen anwenden. Wir nehmen also an, daß es mehrere Stabilitätskreise mit den Radien $R_1, R_2, \cdots R_i \cdots$ gibt, auf denen die beiden Elektronen strahlungslos rotieren können, und der Bohrschen Impulsgleichung genügen:

$$m \cdot v_i R_i = i \cdot \frac{h}{2\pi}. \quad (5)$$

Indem wir den Wert (3) für v in die Gleichung (5) einsetzen, erhalten wir für R_i folgenden Ausdruck:

$$R_i = \frac{i^2 h^2}{\pi^2 e^2 m (3\sqrt{3}-1)}. \quad (6)$$

Die zu diesem Zustand gehörige Energie E_i des Moleküls läßt sich aus der Gleichung (4) und (6) berechnen:

$$E_i = E_\infty - \frac{\pi^2 e^4 m (3\sqrt{3}-1)^2}{4 i^2 h^2}. \quad (7)$$

Wenn die beiden Elektronen beide gleichzeitig von einem Ring i_2 auf einen näheren Ring i_1 springen, so verliert das Molekül dadurch an Energie den Betrag $E_{i_2} - E_{i_1}$. Wir benutzen jetzt die Bohrsche Strahlungsannahme, indem wir voraussetzen, daß die beim Überspringen der beiden Elektronen frei gewordene Energie, in Form einer monochromatischen Strahlung von der Frequenz ν ausgestrahlt wird und zwar je ein Quant $h\nu$ für jedes Elektron. Diese Annahme führt zur folgenden Gleichung:

$$E_{i_2} - E_{i_1} = 2h\nu. \quad (8)$$

Aus der Gleichung (7) und (8) ergibt sich für die Frequenz ν folgende Seriengleichung:

$$\nu = \frac{(3\sqrt{3}-1)^2}{8} \cdot \frac{\pi^2 e^4 m}{h^3}\left(\frac{1}{i_1^2} - \frac{1}{i_2^2}\right). \quad (9)$$

Diese Seriengleichung ist mit derjenigen, die Bohr[1]) für ein Wasserstoffatom berechnet, bis auf die Konstante, identisch.

Aus der Formel (9) ergibt sich für die Balmersche Konstante folgender Ausdruck:

$$\frac{(3\sqrt{3}-1)^2 \pi^2 e^4 m}{8 h^3}. \quad (10)$$

Setzen wir mit Riecke:

$$\frac{e}{m} = 5{,}28 \cdot 10^{17},\ e = 4{,}69 \cdot 10^{-10},\ h = 6{,}55 \cdot 10^{-27},$$

so folgt aus der Formel (10) für die Balmersche Konstante der Wert

$$\mathbf{3{,}32 \cdot 10^{15}},$$

der mit dem experimentellen Wert $3{,}29 \cdot 10^{15}$ bis auf 9 pro Mille genau übereinstimmt.

1) Vgl. E. Riecke, diese Zeitschr. **16**, 222, 1915.

Diese vorzügliche Übereinstimmung ist überraschend, da bekanntlich der Bohrsche Wert der Balmerschen Konstante um 9 Proz. zu klein ist[1]), also eine zehnmal so große Abweichung aufweist.

Allerdings wird der Zahlenwert der obigen Übereinstimmung stark durch die Wahl eines bestimmten Wertes für die Elementarladung e beeinflußt. Trotzdem darf man, in Betracht dessen, daß die oben benutzten Daten die wahrscheinlichsten sind, hierdurch die Tatsache als bewiesen betrachten, daß die Anwendung der Bohrschen Strahlungsannahmen auf das Debyesche Wasserstoff-Molekül zu einer genaueren Wiedergabe des Wasserstoff-Serienspektrums führt als das Bohrsche Atommodell.

1) Vgl. E. Riecke, l. c.

Zürich, März 1916.

(Eingegangen 5. März 1916.)

Über das Wulfsche Elektrometer und das Engler und Sievekingsche Fontaktoskop.

(Bemerkungen zur gleichnamigen Abhandlung B. Walters.)

Von V. F. Hess.

Herr B. Walter teilt unter obigem Titel in Nr. 2 dieser Zeitschrift (15. Januar 1916) seine Erfahrungen über die Verwendung des Wulfschen Zweifaden-Elektrometers in Überkopf-Stellung mit. Ich bin in der Lage, seine Angaben in erfreulicher Weise durchaus bestätigen zu können; im Institute für Radiumforschung in Wien steht diese naheliegende Anordnung des Wulfschen Elektrometers seit 1912 in Gebrauch, und zwar für die verschiedensten Zwecke.

Ein und dasselbe Elektrometer mit einer aufgesteckten Scheibenelektrode und einem größeren auf dem Elektrometerhals aufgepaßten Metallteller wird als Meßapparat auf die betreffenden Ionisierungsgefäße gesetzt.

Bei β-Strahlenmessungen z. B. ist das Ionisierungsgefäß ein zylindrischer Blechtopf, der auf drei Füßen steht und in der Bodenfläche eine runde Öffnung besitzt, die mit einer für α-Strahlen undurchlässigen Folie bedeckt ist.

Das Präparat wird direkt unter diese Öffnung gestellt. Bei α-Strahlenmessungen wird das Präparat im Innern eines ähnlichen Gefäßes ohne Bodenöffnung angebracht. Der Vorteil hierbei ist, daß die Präparate stets geerdet bleiben und bei entsprechender Dimensionierung des Ge-

fäßes keine merklichen Kapazitätsänderungen beim Einbringen von Schälchen u. dgl. eintreten. Die Aufladung erfolgt durch einen seitlich am Hals des Elektrometers angebrachten federnden Stift, ähnlich, wie Herr Walter es beschreibt.

Die Eichkurve des Elektrometers in verkehrter Lage unterscheidet sich nur sehr wenig von der in aufrechter Lage; man muß natürlich berücksichtigen, daß der rechte Faden im Gesichtsfeld bei verkehrter Lage links erscheint und umgekehrt. Die beiden Fäden sind nie ganz gleich empfindlich. Um auch bei höheren Spannungen arbeiten zu können, etwa 300 bis 400 Volt, die das Fadensystem ohne weiteres verträgt, wird das Ablesemikroskop durch seine Schlittenverschiebung exzentrisch gestellt und nur der eine Faden beobachtet.

Von der Verwendung des Wulfschen Elektrometers in verkehrter Lage für fontaktometrische Messungen sind wir wieder abgekommen, da der Bernstein in direktem Kontakt mit der feuchten Innenluft der Fontaktometerkanne sich leicht beschlägt.

Die in der Skizze der Walterschen Abhandlung angegebene Form des Zerstreuungskörpers beim Engler und Sievekingschen Fontaktoskop ist wohl als überholt zu bezeichnen und wird besser durch einen dünnen zylindrischen Stift ersetzt.[1])

Es sei noch erwähnt, daß die verschiedenen Verwendungsweisen des Wulfschen Elektrometers in Überkopf-Stellung anläßlich der Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Wien 1913 vielen Besuchern des Radium-Instituts demonstriert wurden.

1) Vgl. H. Mache und St. Meyer, diese Zeitschr. 10, 860, 1909.

Wien, Institut für Radiumforschung der kaiserl. Akademie der Wissenschaften 10. Februar 1916.

(Eingegangen 17. Februar 1916.)

Über die verbesserte Form des Fontaktoskops nach Engler und Sieveking.

Von C. Engler und A. Koenig.

Am Schlusse einer Mitteilung „Neue Beiträge zur Messung der Radioaktivität von Quellen“[1]) ist von C. Engler, H. Sieveking und A. Koenig eine verbesserte Form des Fontaktoskops kurz beschrieben worden, welche sich von dem älteren Apparat u. a. durch die Verwendung eines Wulfschen Quarzfadenelektrometers unterscheidet. Von diesem Instrument wurde an der genannten Stelle auch eine schematische Zeichnung unter genauer Angabe der wesentlichen Abmessungen gebracht, die wir hier nochmals wiedergeben (Fig. 1).

Die Firma Günther & Tegetmeyer in Braunschweig, welche im Juni 1914 mit der Ausführung des Apparates betraut worden war, hat indessen, wie sie uns schrieb, durch den inzwischen ausgebrochenen Weltkrieg fast aller Arbeitskräfte beraubt, uns erst im März 1915 das erste Wulfsche Elektrometer liefern können. Unser hier photographisch abgebildeter Apparat (Fig. 2) war in der Fabrik bezüglich Voltempfindlichkeit und Kapazität geeicht worden. Wir haben gleich nach Empfang der Sendung die Angaben des Instrumentes nachgeprüft und bestätigt gefunden.

Kürzlich hat nun B. Walter eine Abhandlung „Über das Wulfsche Elektrometer und das Engler und Sievekingsche Fontaktoskop“[1]) veröffentlicht, die von unserer Seite nicht unwidersprochen bleiben darf, weil durch sie der Anschein erweckt wird, als ob das neue Fontaktoskop von uns nur auf dem Papier, von ihm aber erst praktisch konstruiert worden sei.

Herr Walter schreibt: „Als ich mich einige Zeit nach dem Erscheinen jener Abhandlung (von Engler, Sieveking und Koenig) wegen der darin abgebildeten neuen Form dieses Elektrometers an die Firma Günther & Tegetmeyer in Braunschweig wandte, die bekanntlich diese Instrumente herstellt, erhielt ich die Antwort, daß der Apparat von ihnen bisher weder ausgeführt noch ausprobiert sei, und die Angelegenheit scheint auch bis heute noch nicht weiter gefördert zu sein.“

Dieser unzutreffenden Vermutung liegt wohl die Annahme zugrunde, daß wir am Wulfschen Elektrometer für die Verwendung im Fontaktoskop eine weitgehende Umkonstruktion vorzunehmen beabsichtigten, was nicht der Fall war. Eine briefliche Anfrage an den einen von uns hätte Herrn Walter sogleich Aufklärung über die Sachlage verschafft; er hätte erfahren, daß der Apparat hier vollständig ausgeführt war, und wir lediglich auf die Lieferung des Wulfschen Elektrometers eine Zeitlang warten mußten.

Die Anordnung des Wulfschen Fadenelektrometers in unserem Fontaktoskop ist aus umstehender photographischen Abbildung (Fig. 2) ersichtlich. Es versteht sich von selbst, daß das Elektroskop bei dieser Art der Benutzung „auf dem Kopf stehen“ muß, da ja der Zerstreuungskörper nach unten hängt.

1) Chem. Ztg. 38, 425, 446, 1914.

1) Diese Zeitschr. 17, 21, 1916.

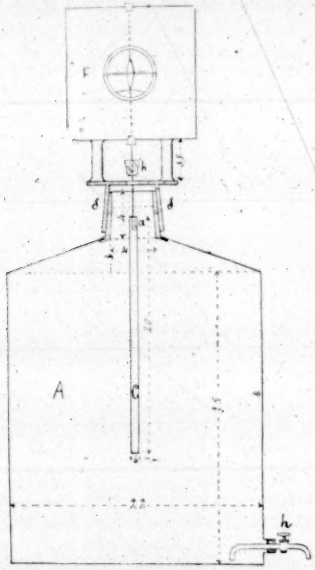


Fig. 1.

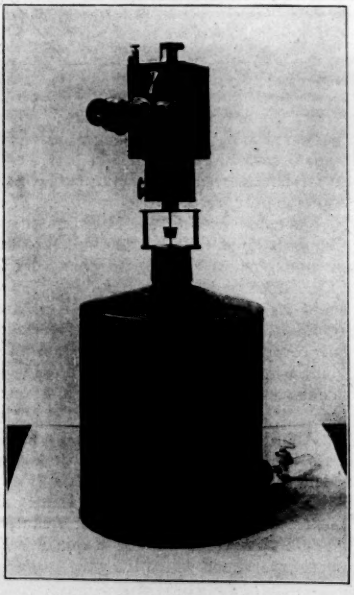


Fig. 2.

Auf den Abstand der gespreizten Fäden ist die Lage des Elektrometerkastens ohne wesentlichen Einfluß. Der Erfinder, Herr Prof. Th. Wulf-Valkenburg (Holland), hebt ja auch als eine der guten Eigenschaften seines Elektrometers speziell für den Gebrauch auf Reisen hervor, daß es ohne besondere Arretierungsvorrichtung transportfähig ist, und das Fadensystem im geladenen Zustande Lagenänderungen und selbst heftige Stöße ohne Schaden verträgt[1]).

Die Volteichung des uns gelieferten Instrumentes war sowohl in aufrechter Lage auf dem Dreifuß, wie auch in „verkehrter" Lage auf der Fontaktoskopkanne vorgenommen worden. Das beistehende Diagramm (Fig. 3) zeigt, wie nahe beieinander die beiden Kurven liegen. (D = Messung auf Dreifuß, F = am Fontaktoskop.)

Die Kapazität des ganzen Fontaktoskops beträgt 7,67 cm, also nur wenig mehr als die Hälfte der Kapazität (13—14 cm) der alten Konstruktion.

Diese Verkleinerung der Kapazität, welche zusammen mit der Verfeinerung der Ablesung den Hauptzweck der Umkonstruktion des Engler-Sieveking schen Fontaktoskops gebildet hat, ist auf drei Ursachen zurückzuführen: 1. Die Benutzung des Wulfschen Fadenelektrometers, dessen Kapazität nur rund 3 cm beträgt (genau 2,81 cm ohne, 3,28 cm mit Schutzkappe); 2. die Verwendung eines dünnen Stiftes als Zerstreuungskörper an Stelle des alten dicken Zylinders; 3. eine geringe Erweiterung der Öffnung im Kannendeckel, durch welche der Haltestift für den Zerstreuungskörper hindurchgeführt ist.

Besonderen Wert legen wir darauf[2]), daß bei der Verbindung des Elektroskops mit der Kanne (dem Zerstreuungsgefäß) ein Zwischenraum frei bleibt, zu welchem die äußere, relativ trockene Luft ungehindert Zutritt hat. Ohne diesen offenen Zwischenraum sind nämlich Isolationsstörungen schwer zu vermeiden; der feine Wassernebel, der sich beim Schütteln in der Kanne bildet, kann durch Konvektion leicht über die Mündung der Kanne steigen und den Bernsteinisolator des Elektroskops oberflächlich leitend machen[3]). Unsere Anordnung mit Luftisolation beseitigt, wie sich in langjähriger Erfahrung von Engler und Sieveking ergeben hat, diese Fehlerquelle vollständig.

Der von Herrn Walter hervorgehobene Vor-

1) Diese Zeitschr. 10, 252, 1909.
2) Vgl. auch die eingangs erwähnte Abhandlung in der Chemiker-Zeitung.
3) Das am Elektrometer angebrachte Trockengefäß ist kein genügender Schutz dagegen.

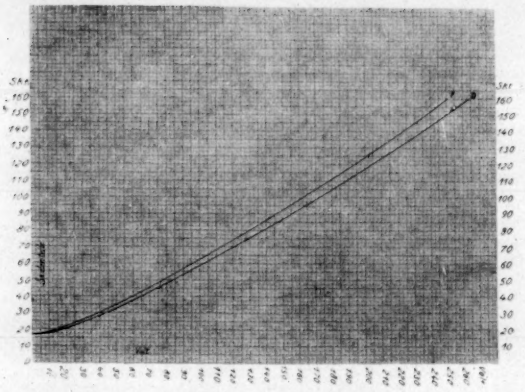


Fig. 3.

zug seines Apparates, infolge luftdichten Abschlusses Messungen auch nach längerer Wartezeit zu ermöglichen, ist insofern ohne praktische Bedeutung, als der je nach der Geschwindigkeit des Eintauchens des großen Zerstreuungskörpers in die Kanne[1]) verschieden große Emanationsverlust den durch Ausströmen aus unserem offenen Apparat entstandenen selbst bei halbstündiger Beobachtungszeit übertrifft. Für die Messung im radioaktiven Gleichgewicht, also etwa $2^1/_2 - 3$ Stunden nach Einbringen der Radiumemanation in die Kanne, ist übrigens unser Apparat bis zum Zeitpunkt der Messung in einfachster Weise durch einen kleinen Kautschukstopfen verschlossen zu halten, der über den Haltestift des Zerstreuungskörpers geschoben ist und in die Deckelöffnung genau paßt. (Vgl. die Abbildungen Fig. 1 und 2.)

Es läßt sich also sagen, daß die von Herrn Walter empfohlene Abänderung des Engler-Sievekingschen Fontaktoskops sich von dem in der Chemiker-Zeitung 1914 von uns und Sieveking beschriebenen, von Günther & Tegetmeyer ausgeführten und seit 1 Jahr bei uns in Gebrauch befindlichen Apparat nur dadurch unterscheidet, daß Walters Apparat 1. infolge Benutzung des alten dicken Zerstreuungszylinders eine etwas größere Kapazität (9 cm) besitzt und 2. infolge Verzichts auf unsere „Luftisolation" eher der Gefahr von Isolationsstörungen ausgesetzt ist.

1) Vgl. hierzu auch die Bemerkungen von W. Hammer über Fehlerquellen beim alten Fontaktoskop, diese Zeitschr. **13**, 943, 1912.

(Eingegangen 19. Februar 1916.)

Bemerkungen zu den vorstehenden Abhandlungen des Herrn Hess und der Herren Engler und Koenig.

Von B. Walter.

Zunächst hat meine in Rede stehende Abhandlung jedenfalls den Nutzen gehabt, daß sie Herrn Hess zu der Mitteilung veranlaßte, daß das Wulfsche Elektrometer in Überkopfstellung sich auch im Wiener Radiuminstitute schon seit mehreren Jahren für die verschiedensten Zwecke bewährt hat, so daß also an der Brauchbarkeit dieses mit Recht so beliebten Instrumentes in der erwähnten Stellung kein Zweifel mehr bestehen kann.

Allerdings sagt nun Herr Hess, daß man für fontaktometrische Messungen, auf die ich ja in meiner Abhandlung das Hauptgewicht gelegt hatte, in dem genannten Institute von der Verwendung jenes Elektrometers in umgekehrter Lage wieder abgekommen sei, da der Bernstein durch die unmittelbare Berührung mit der feuchten Innenluft sich leicht beschlage. Hierzu habe ich nun zu bemerken, daß diese Befürchtung allerdings bei der von mir angegebenen Konstruktion des Fontaktometers, trotzdem ich bei meinen zahlreichen Beobachtungen mit demselben niemals einen feuchten Beschlag auf der Bernsteinoberfläche gesehen habe, und trotzdem auch die durch einen etwaigen „unsichtbaren" Beschlag dieser Art hervorgerufenen Messungsfehler danach nur von geringer Größe sein können, doch wohl nicht ganz von der Hand zu weisen ist. Darum besteht nun aber doch noch kein Grund, das genannte Elektrometer in diesem Falle ganz zu verwerfen, da man

sich ja hier einfach in der Weise helfen kann, wie die Herren Engler und Koenig dies in ihrer vorstehenden Abhandlung getan haben; und ich darf es daher wohl als ein weiteres Verdienst der meinigen in Anspruch nehmen, daß sie diese Herren veranlaßt hat, nunmehr die endgültige Konstruktion ihres Fontaktoskops zu veröffentlichen.

Hamburg, Physikalisches Staatslaboratorium den 3. März 1916.

(Eingegangen 4. März 1916.)

ZUSAMMENFASSENDE BEARBEITUNGEN.

Flüssige Kristalle und anisotrope Flüssigkeiten [1].

Von W. Voigt.

1. Einleitung.

In den verschiedensten Gebieten der Physik hat uns die Entwicklung der letzten Dezennien gezwungen, lange festgehaltene und vielfach als nützlich erprobte Vorstellungen aufzugeben. Ein solcher Prozeß vollzieht sich naturgemäß jederzeit gegen einen gewissen Widerstand, der indessen keineswegs immer auf Bequemlichkeit oder dogmatischer Gebundenheit beruht, sondern ebenso oft der pflichtmäßigen Vorsicht entspringt. Nur zu häufig ist eine neu auftauchende Vorstellung das Produkt der einseitigen Untersuchung eines einzelnen Erscheinungsgebietes und wird mit Wärme vertreten, bevor noch ausreichend untersucht worden ist, wie sie sich in anderen Gebieten als möglich und nützlich bewährt. Der oben erwähnte Widerstand kann deshalb statt hemmend geradezu fördernd für die Sicherung und Vertiefung der Erkenntnis wirken, wenn er die Anregung zu systematischer kritischer Bearbeitung aller möglichen Konsequenzen einer neu auftauchenden Vorstellung gibt. Ein solcher Vorteil wiegt aber den Nachteil, den wissenschaftlich die Verzögerung des Sieges einer neuen Vorstellung etwa darstellt, der Regel nach weit auf. Der Entdecker muß sich demgemäß in solchen Fällen in Geduld bescheiden und sich des späteren, aber vollständigeren Erfolges, wenn er ihn erlebt, doppelt freuen.

Die Einbürgerung der zuerst von O. Lehmann ausgesprochenen Vorstellung, daß die Materie gleichzeitig Eigenschaften besitzen könne, die wir als für den kristallinischen und für den flüssigen Zustand charakteristisch ansehen, hat Widerstände der oben genannten Art in reichem Maße gefunden. Zum Teil spielten sich dieselben in einem ziemlich unfruchtbaren Streit um Definitionen und Worte ab, zum größeren Teil aber in ernsten kritischen Versuchen, die beobachteten Erscheinungen, die zu der neuen Vorstellung Anlaß gegeben hatten, auf andere, der Tradition gemäßere Weise zu deuten. Wie die Dinge jetzt liegen, wird jedenfalls behauptet werden dürfen, daß die neue Vorstellung in der vorsichtigen Fassung, die ihr im Vorstehenden wegen der großen Mannigfaltigkeit der in Frage kommenden Erscheinungen und der Dehnbarkeit des Begriffes „Kristall" gegeben ist, sich einerseits nicht hat eliminieren lassen, sondern in unseren Vorstellungskreis fest eingebürgert ist, und daß sie sich andererseits auch ohne die revolutionären Wirkungen nach allen möglichen Richtungen hin, die je nach dem Standpunkt von Manchen erhofft oder gefürchtet waren, in diesen Kreis eingefügt hat.

Die letzten Jahre haben noch mancherlei wichtige Fortschritte in der Bearbeitung dieser merkwürdigen je nach Auffassung als „flüssige Kristalle" oder „anisotrope Flüssigkeiten" bezeichneten Körper gebracht; doch scheint, nach Art und Zeitmaß dieses Fortschreitens zu urteilen, die Entwicklung sich asymptotisch einem Gleichgewichtszustand beträchtlich genähert zu haben. Darum dürfte es zeitgemäß sein, einmal wieder den Zustand unserer Kenntnisse in dem ganzen Gebiete zusammenfassend darzustellen. Diese Zeitschrift brachte eine solche Darstellung für das um die Jahrhundertwende Erreichte in ihrem ersten Bande [1]; Zusammenfassungen der eigenen nach verschiedenen Seiten bahnbrechenden Arbeiten unter Heranziehung von Verwandtem haben später Lehmann [2], Schenck [3], Vorländer [4] gegeben; aber die neueste dieser Monographien ist doch bereits fünf Jahre alt, und alle verfolgen mehr oder weniger spezielle Ziele. Nach Lage der Dinge wird auch die folgende Darstellung nicht das ganze Gebiet decken können. Die speziellen chemischen Unter-

1) Erweiterte Niederschrift einer im Laufe des Februar 1916 in einem theoretischen Seminar an der Universität Göttingen gehaltenen Vortragsreihe.

1) R. Schenck, diese Zeitschr. 1, 409 u. 425, 1900.
2) O. Lehmann, Flüssige Kristalle, Leipzig 1904; Die neue Welt der flüssigen Kristalle, Leipzig 1911.
3) R. Schenck, Kristallinische Flüssigkeiten und flüssige Kristalle, Leipzig 1905.
4) D. Vorländer, Kristallinisch-flüssige Substanzen, Stuttgart 1908.

suchungen, die mit so großer Zähigkeit und so großem Erfolg von Vorländer durchgeführt sind, müssen unberücksichtigt bleiben, und auch auf die äußerst zahlreichen experimentellen Arbeiten Lehmanns kann nicht entfernt so eingegangen werden, wie sie es wohl verdienten[1]). Letzteres ist dadurch bedingt, daß viele dieser interessanten Versuche überaus komplizierte Verhältnisse (z. B. Kopulation von einer größeren Zahl kristallinischer Tropfen) betreffen und zunächst einem tieferen Verständnis noch nicht recht zugänglich sind, wenn auch beachtenswerte Ansätze für die Deutung vorliegen. Damit steht im Zusammenhang, daß sie auch eine bloße Beschreibung nur an der Hand der Reproduktion von Photogrammen gestatten, und daß eine solche nicht in dem Plane dieser Darstellung liegt[2]). Das Hauptziel, das die letztere sich stellt, ist die Darstellung derjenigen Erscheinungen, die nicht nur dem Verständnis, sondern auch der exakten physikalischen Messung einigermaßen zugänglich sind. Doch sollen einleitend die fundamentalen qualitativen Beobachtungen, obwohl sie schon in dem oben erwähnten Schenckschen Bericht von 1900 Berücksichtigung gefunden haben, zum Zweck einer schnellen Orientierung noch einmal kurz aufgeführt werden. Die weitere Darstellung wird sich nicht streng an die zeitliche Folge der bezüglichen Arbeiten halten, sondern gelegentlich alles, was eine einzelne Frage betrifft, zusammenrücken. Allgemein ist die Anlage so gewählt, daß die mechanischen und thermodynamischen Untersuchungen (mit Einschluß vereinzelter magnetischen) vorweg genommen werden, und die optischen, die in der Mehrzahl tatsächlich auch neueren Datums sind, in den zweiten Teil verwiesen werden.

2. Die ersten Beobachtungen.

Daß es Kristalle gibt, die sich als dauernd deformierbar darstellen, ist eine alte Beobachtung. Die meisten derartigen Fälle werden durch eine innere Verschiebbarkeit der Kristallsubstanz nach Gleitflächen erklärt, wobei ein unstetiges Umspringen größerer oder kleinerer Teile in eine Zwillingsstellung stattfindet. Es kommen aber auch dauernde Deformationen vor, die anderen Charakter haben und die bez. Kristalle wachs- oder pechartig erscheinen lassen. Stäbe von Steinsalz erfahren bei gewöhnlicher Temperatur schon von kleinsten Belastungen an dauernde Biegungen, die bei vorsichtigem Operieren sehr beträchtliche Größe erreichen können[1]). Jodsilber, welches zwischen 146 und 450° in einer zähflüssigen Modifikation besteht, ist dabei, wie O. Lehmann[2]) erkannt hat, im regulären System kristallisiert. Die Raumgitter der Kristallstruktur können sonach unter Umständen dauernde Verzerrungen erfahren, ohne sich dabei von Grund aus zu ändern, etwa in verschieden orientierte Elemente zu zerfallen.

Während diese und ähnliche Wahrnehmungen ohne Fortentwicklung geblieben sind, gab eine etwas spätere verwandte Entdeckung der Forschung einen entscheidenden Anstoß. Reinitzer[3]) fand, daß Cholesterilbenzoat in zwei flüssigen Phasen existiere. Die eine entstand aus den festen Kristallen bei 145°, die zweite aus der ersteren bei 179°; die Übergänge waren umkehrbar wie normale Schmelzpunkte. Die erste Phase, die sich bei Beobachtung dünner Schichten mit freiem Auge trübe darstellte, erwies sich nun im Polarisationsapparat ziemlich stark doppelbrechend, während die zweite Phase die gewöhnliche Konstitution der Flüssigkeiten, Durchsichtigkeit und Isotropie erkennen ließ. Doppelbrechung war zur Zeit jener Wahrnehmung bei Flüssigkeiten nur bekannt, wenn dieselben gegen eine starke innere Reibung zu Strömungsbewegungen gezwungen und dadurch mit inneren Spannungen ausgestattet wurden; ruhende Flüssigkeiten galten für ausnahmslos isotrop. An ruhenden Körpern waren überhaupt Doppelbrechungen nur beobachtet, wenn sie fest und von Natur oder durch äußere Einwirkung anisotrop waren.

Reinitzer gab die neue Substanz zur näheren Untersuchung an O. Lehmann, und in dem Austausch der Ansichten zwischen den beiden Forschern wurde zuerst von Lehmann aus den Beobachtungen die Folgerung gezogen, daß hier fließende doppeltbrechende „Kristalle“ vorlägen[4]). Die Trübung der ersten flüssigen Phase wäre hiernach darauf zurückzuführen, daß die Substanz in ihr (ähnlich wie ein kristallinisches Gestein, aber in voller und homogener Raumerfüllung) aus äußerst zahlreichen regelmäßig konstituierten Kristallindividuen in regelloser Anordnung bestände.

Die Veröffentlichung dieser Resultate machte

1) Ein umfassender Nachweis der Literatur bis zum Jahre 1908, in dem die bez. Lehmannschen Arbeiten voll berücksichtigt sind, findet sich am Ende der Vorländerschen Monographie.

2) Die Vorträge, auf denen der obige Bericht beruht, gingen auf jene Versuche etwas näher ein, da Herr Lehmann für dieselben ein großes Material an Diapositiven in freundlichster Weise zur Verfügung gestellt hatte.

1) W. Voigt, Diss. Königsb. 1874.

2) O. Lehmann, Zeitschr. f. Krist. 1, 120 u. 492, 1877.

3) F. Reinitzer, Monatsh. f. Chemie, 9, 421, 1888.

4) O. Lehmann, Zeitschr. f. phys. Chem. 4, 462, 1889.

Gattermann[1]) auf die Bedeutung ähnlicher Wahrnehmungen aufmerksam, die ihm bei zwei von ihm hergestellten Substanzen *p*-Azoxyanisol und *p*-Azoxyphenetol geglückt waren. Beide Substanzen zeigten ebenso wie Cholesterilbenzoat eine trübe und eine klare flüssige Phase; von der ersteren lagen die beiden Umwandlungs-(oder Schmelz-)punkte bei ca. 116° und 134°, von der letzteren bei 137,5 und 168°. Gattermann gab beide Substanzen zur genaueren Bearbeitung an Lehmann, und sie haben erst ihm und später mehreren anderen Forschern zu einer sehr großen Zahl von Beobachtungen gedient. Dem günstigen Material wurde von Lehmann besonders mit Hilfe eines geschickt konstruierten heizbaren Mikroskopes eine Fülle interessanter Resultate abgewonnen.

Man kann in einem solchen Mikroskop leicht die drei Phasen (fest-, flüssig-aeolotrop oder -anisotrop, flüssig-isotrop) nebeneinander zur Anschauung bringen, wenn man eine dünne Schicht einer der genannten Substanzen unter dem Mikroskop zwischen gekreuzten Polarisatoren von einer Randstelle aus erwärmt oder abkühlt. Ist die Schicht anfänglich isotrop flüssig, also in der Durchsicht dunkel, so entstehen in ihr bei Abkühlung von einem Rande her tropfenförmige Gebilde, die durch Doppelbrechung hell erscheinen — die flüssig-anisotrope Phase —; diese fließen allmählich zu größeren hellen Massen zusammen und gehen auf der gekühlten Seite schließlich in ein Aggregat nadelförmiger fester Kristalle über.

Es sei schon hier bemerkt, daß es später Vorländer gelungen ist, eine sehr große Zahl von anderen chemischen Verbindungen herzustellen, die flüssige doppeltbrechende Phasen besitzen, darunter solche ohne merkliche Trübung. Auch erwies sich der Fall einer solchen Phase nicht als der einzige; es fanden sich vielmehr Substanzen, die deren zwei, drei, vier besaßen. Eine große Anzahl von Beobachtungen ist aber vor den Vorländerschen Entdeckungen, insbesondere mit den Gattermannschen Substanzen, durchgeführt worden, und so soll auf jene hier nur vorläufig hingewiesen werden.

Im Interesse der Einfachheit der Darstellung soll weiterhin die isotrop-flüssige Phase kurz als die *i*-Phase, die aeolotrop- oder anisotropflüssige als die *a*-Phase, die feste als die *f*-Phase bezeichnet werden. Existieren mehrere *a*-Phasen, so mögen sie nach ihren stabilen Existenzbereichen im Sinne fallender Temperaturen gezählt, also die mit dem höchsten Temperaturbereich als a_1-Phase bezeichnet werden.

1) L. Gattermann, Ber. Deutsche Chem. Ges. **23**, 1738, 1890.

3. Isolierte Individuen.

Der einfache Kunstgriff, kleine Mengen der Substanz in einer indifferenten Flüssigkeit oder Schmelze (Olivenöl, Glyzerin, Kolophonium) zu suspendieren, ermöglichte Lehmann[1]) das genauere mikroskopische Studium ihrer Eigenschaften ohne Störung durch umgebende anders orientierte Individuen, freilich dafür in nicht vollkommener chemischen Reinheit.

Die oben genannten beiden Gattermannschen Substanzen, *p*-Azoxyanisol und -phenetol, stellten sich bei dieser Behandlung in Form von nahe kugelförmigen, merklich klaren Tröpfchen dar, die eine regelmäßige innere Struktur zu haben schienen. Es war an ihnen auch bei Beobachtung ohne Polarisatoren eine Polachse erkennbar, mit der sie sich meistens in die Richtung normal zu Objektträger und Deckglas zu stellen suchten (erste Hauptlage); daneben war die parallele Lage bevorzugt (zweite Hauptlage).

In der letzteren Lage ließ sich im Innern der Tröpfchen, wohl als Folge singulärer Brechungsverhältnisse, ein etwa spindelförmiger Kern erkennen, der in der ersten Lage sich nur durch eine in konzentrischen Kreisen wechselnde Intensitätsverteilung geltend machte.

Da diese Tröpfchen im Gegensatz zu ausgedehnten Schichten nicht trübe, sondern relativ klar erschienen, so spricht ihnen Lehmann die Eigenschaft abgeschlossener regelmäßig konstituierter, in gewissem Sinne homogener Individuen zu. Wulff[2]) deutet die an ihnen beobachteten Erscheinungen allerdings auf eine komplexe Struktur: einen isotropen Kern, umgeben von einer doppeltbrechenden Hülle. Man kann prinzipiell gewiß zugeben, daß durch die Suspension in einer fremden, zumeist vielleicht unreinen Substanz die Möglichkeit von Verbindungen vorliegt, die zu der Bildung von Häutchen oder (wie Andere meinen) von Fäden führen. Indessen ist, wie es scheint, die Wulffsche Deutung von keiner anderen Seite aufgenommen worden; sie will sich auch mit weiter unten zu besprechenden Wahrnehmungen nicht vereinigen lassen und dispensiert überdies nicht von der Annahme einer anisotropen Flüssigkeit. Man wird also vorerst jedes dieser Tröpfchen wohl als eine Art von Individuum gelten lassen, das sich indessen von einem gewöhnlichen Kristallindividuum sofort dadurch wesentlich unterscheidet, daß seine Begrenzung nicht polyedrisch ist. Es wäre an sich nicht undenkbar, daß es trotzdem regelmäßige Raumgitterstruktur besäße

1) S. zu dem Folgenden z. B. die Lehmannsche Monographie „Flüssige Kristalle" von 1904.
2) G. Wulff, Zeitschr. f. Krist. **46**, 261, 1909.

und daß die hiermit im allgemeinen verbundene polyedrische Form nur dadurch nicht zustande kommen könnte, daß die inneren orientierenden Kräfte gegen die Oberflächenspannung zu gering sind. Es ist aber nach dem Aussehen in natürlichem Lichte auch denkbar, daß es sich bei diesen Tröpfchen überhaupt nicht um eine normale Gitterstruktur handelt, sondern daß z. B. eine Anordnung vorliegt, bei der die Moleküle mit äquivalenten Richtungen auf Breitenkreisen angeordnet sind.

Bei Beobachtung mit einem Polarisator erschienen die (sonst leicht gelblich gefärbten) Tröpfchen in der ersten Hauptlage quadrantenweise abwechselnd gelb und weiß, — dabei lagen die Symmetrielinien der Quadranten aber nicht normal und parallel zur Hauptrichtung des Polarisators, sondern waren dagegen um ca. 45° gedreht, — in verschiedenen Sinne, wenn der Polarisator vor und wenn er hinter dem Präparat stand. Zwischen zwei gekreuzten Polarisatoren zeigten die Tröpfchen in der ersten Hauptlage ein dunkles Kreuz (wie eine normal zur Hauptachse geschliffene Kalkspatplatte im konvergenten Licht). Die Quadranten zwischen den Kreuzarmen ließen abwechselnd weiße und gelbe Färbung erkennen; die Kreuzarme waren häufig gefärbt. Die Gesamtheit dieser Erscheinungen deutet, wie später genauer zu erörtern sein wird, auf das Vorhandensein zirkularer Polarisation in Verbindung mit Dichroismus. —

Erwärmt man das Präparat — indifferente Flüssigkeit mit suspendierten Tröpfchen — von unten her, so beginnen die Tröpfchen, und zwar die in der ersten Hauptlage schwächer, in der zweiten Hauptlage lebhafter, zu rotieren, beide Male in der Richtung entgegen derjenigen des Uhrzeigers. Dabei entstehen infolge innerer Reibung relative Verschiebungen zwischen den einzelnen kugelförmigen Schichten, und damit sekundäre Anisotropien, die sich für die erste Hauptlage durch die spiralige Deformation des Kreuzes zwischen Polarisatoren, für die zweite auch in natürlichem Licht durch (unter Umständen sehr starke) spiralige Deformation des spindelförmigen Kernes erkennen lassen. In beiden Fällen bleiben, wenn die Tröpfchen völlig frei in der umgebenden Flüssigkeit schweben, die Randschichten gegen das Innere zurück. Dasselbe gilt, wenn mehrere Tröpfchen einander berühren. Man wird daraus folgern, daß die Ursache der Rotation ein auf das Innere der Flüssigkeit ausgeübtes Drehungsmoment ist, dem am Äquator die Reibung gegen die umgebende ruhende Flüssigkeit entgegenwirkt. Bei großen Tropfen, die beiderseits an den die Schicht begrenzenden Glasplatten haften, kann natürlich das Verhältnis sich umkehren, so daß die Randschichten dem Innern des Tropfens voraneilen.

Die Ursache dieser merkwürdigen Rotationen ist noch nicht völlig aufgeklärt. Kann man auch durch das Temperaturgefälle von unten nach oben eine polare Richtung, durch die Drehung der Polarisationsebene (Aktivität) einen ausgezeichneten Drehungssinn als gegeben betrachten, so ist der Mechanismus des Vorganges doch bislang unklar. Ein Schluß auf die Symmetrie der Moleküle, der über das zur Drehung der Polarisationsebene des Lichtes Notwendige hinausgeht, erscheint bedenklich. —

Tropfen, die in irgendeiner Lage zwischen Deckglas und Objektträger flach gedrückt werden, können ihr Aussehen und darnach also auch ihre innere Struktur beträchtlich ändern. Man wird daraus auf einen gewissen Grad von Richtungskraft zwischen den Molekülen schließen. Bei Zerlegung eines undeformierten Tropfens in Teile nimmt ein jeder von ihnen von selbst die Form und Konstitution des ursprünglichen an, wobei natürlich die Orientierung gegen die begrenzenden Glasplatten von den Umständen abhängt.

Mehrere Tropfen zur Berührung gebracht, fließen in einen zusammen, doch so, daß für längere oder kürzere Zeit jeder Teil ein eigenes Gesetz innerer Struktur beibehält. Dabei entstehen für die Beobachtung sowohl im natürlichen wie im polarisierten Lichte merkwürdige und reizvolle Erscheinungen.

Ausgedehnte Beobachtungen über das Verhalten einfacher und zusammengesetzter Tropfen von verschiedenen Substanzen sind neuestens wieder von Lehmann[1]) beschrieben worden.

Im Magnetfeld zeigen die Kristalltropfen die Tendenz, sich mit der Polachse parallel zu den Kraftlinien einzustellen. Sind sie durch die Umgebung, etwa durch die Reibung an Objektträger und Deckglas, an der freien Bewegung behindert, so bringt das Feld innere Verschiebungen hervor, die sich insbesondere durch die Deformation des spindelförmigen Kernes geltend machen. —

Substanzen, von denen in der oben geschilderten Weise suspendierte kleine Mengen in der anisotropen Phase Tropfenform annehmen, stellen den einen Typ dar, den man wohl als kristallinische oder anisotrope Flüssigkeit bezeichnet hat. Ihm gegenüber steht ein anderer, wo suspendierte Teilchen sich mehr oder weniger polyedrisch darstellen. Bei diesen Substanzen müssen also die Oberflächenspannungen gegenüber den inneren orientierenden Kräften an Wirkung zurücktreten; sie hindern

1) O. Lehmann, diese Zeitschr. 13, 550, 1912.

nicht völlig die mit einer Raumgitterstruktur zusammenhängende Formbildung, sondern beeinflussen sie nur durch mehr oder weniger starke Abrundung der Ecken und Kanten. Die Gebilde zeigen im polarisierten Licht Erscheinungen, die auf gleichförmige normale Doppelbrechung und somit auf eine regelmäßige Raumgitterstruktur schließen lassen.

Erste Beispiele für diesen Typ sind von Lehmann[1]) gefunden worden. Aus einer warmen alkoholischen Lösung von ölsaurem Ammonium scheiden sich Kristalle in Form von steilen Doppelpyramiden ab, deren Querschnitt aber kein reguläres Polygon, sondern ein Kreis ist. Dies letztere deutet darauf hin, daß die transversalen orientierenden Kräfte nicht ausreichen, um der Oberflächenspannung den zur Formbildung ausreichenden Widerstand zu leisten. Suspendierte kleine Mengen von Cholesteryloleat verhielten sich analog.[2]) Die reelle Flüssigkeit der Individuen bekundet sich unter anderem in der Fähigkeit des Zusammenfließens mehrerer bei paralleler, sowie des Verwachsens bei gekreuzter Lage. Man kann mit einem gewissen Recht die Gebilde dieser Art als Individuen „flüssiger oder fließender Kristalle" bezeichnen.

War bei den genannten Substanzen in der äquatorialen Richtung die Oberflächenspannung den formbildenden Molekularkräften noch überlegen, so hat Vorländer[3]) Substanzen hergestellt, bei denen in allen Richtungen die letzteren Kräfte die Oberhand besitzen, und demgemäß aus der Mutterlauge regelmäßige Polyeder mit merklich scharfen Ecken und Kanten entstehen. Daß diese Kristalle wirklich flüssig sind, ergibt sich daraus, daß auch sie, wie die vorgenannten, bei gegenseitiger Berührung zusammenfließen. Ist die gesamte Schmelze in die anisotrop-flüssige *a*-Phase übergegangen, so gibt sie im Polarisationsmikroskop ein Bild, das sich von einem Gesteinsschliff nicht unterscheidet; aber die Substanz ist reell flüssig.

Bei derartigen in der *a*-Phase mit deutlicher Kristallstruktur beobachteten Substanzen kommt gelegentlich der Fall vor, daß eine dünne Schicht der *a*-Phase deutlich die Textur der festen widerspiegelt, aus der sie entstanden ist[4]); ferner, daß nach Erhitzen bis zum Entstehen der isotropen *i*-Phase und Wiederabkühlen die anisotrope merklich in derselben Textur entsteht, die sie ursprünglich besaß, selbst wenn die isotrope Schmelze absichtlich zum Strömen gebracht war. Es folgt hieraus, daß an den Flächen der die Schicht begrenzenden Platten Elemente haften müssen, welche die Orientierung der Moleküle der anisotropen Phase bestimmen.

1) O. Lehmann, Flüssige Kristalle S. 32 u. f.
2) O. Lehmann, l. c. S. 34.
3) D. Vorländer, Zeitschr. f. phys. Chemie **57**, 363, 1906.
4) O. Lehmann, Flüssige Kristalle, S. 58; auch Ch. Mauguin, diese Zeitschr. **12**, 1011, 1911.

3. Homogene Schichten.

Der oben beschriebenen ersten Methode Lehmanns zur Herstellung einfacher und für die Untersuchung günstiger Verhältnisse durch Suspension kleiner Massen der bez. Substanz in einer indifferenten Flüssigkeit — die gelegentlich auch durch die Mutterlauge vertreten werden kann — ist eine zweite zuzuordnen[1]), die insbesondere für optische Zwecke sehr große Bedeutung gewonnen hat und prinzipiell vielleicht noch größere Bedeutung dadurch besitzt, daß sie keine fremde Flüssigkeit mit der untersuchten in Berührung bringt. Von vielen Substanzen gelingt es, dünne Schichten trüber Schmelze durch gewisse Kunstgriffe zu klären; außer durch bestimmte Leitung der Erwärmung insbesondere dadurch, daß man das Deckglas mehrfach um kleinere Strecken hin- und herrückt. Die zuvor durch Doppelbrechung helle Masse wird dann zwischen gekreuzten Nikols für senkrechte Beobachtung dunkel. Daß keine wirkliche Isotropie vorliegt, lehrt die Beobachtung bei schiefem Einfall, insbesondere auch im konvergenten Licht. Wir kommen auf die Verwertung dieser Methode unten ausführlich zurück. Hier mag nur erwähnt werden, daß der neue Zustand mit großer Sicherheit darauf gedeutet werden kann, daß bei ihm die Moleküle innerhalb der ganzen Schmelze (offenbar durch Einwirkung der Begrenzung) mit in ihnen ausgezeichneten Richtungen (Hauptachsen) normal zu den begrenzenden Glasplatten gerichtet sind. Dies erhellt unter anderem daraus, daß sowohl der Rand einer solchen dunkel erscheinenden Schicht, wo sie eine scharf gekrümmte kapillare Oberfläche begrenzt, hell erscheint, als daß auch die Grenze gegen die isotrope Phase, wenn sie durch Wärmezu- und -abfuhr im Vorrücken oder Zurückweichen schwankt, zwischen gekreuzten Nikols sich hell darstellt.

Sehr interessante Beobachtungen über homogene Schichten zwischen parallelen Glasplatten verdankt man Mauguin[2]). Dieser Forscher fand, daß hinreichend dünne Schichten von *p*-Azoxyphenetol zwischen sorgfältig gereinigten Platten ohne irgendwelche besondere Behandlung Bereiche zeigten, die sich durchaus wie Platten aus einem einachsigen Kristall in allen mög-

1) O. Lehmann, Flüssige Kristalle S. 80.
2) Ch. Mauguin, C. R. **151**, 886; diese Zeitschr. 12, 1011, 1911.

lichen Orientierungen verhielten, nämlich bei Beobachtung im konvergenten polarisierten Licht entsprechende Interferenzerscheinungen zeigten. Die bez. Orientierung bestimmte sich dabei anscheinend durch das Verhalten der ersten an den Platten adhärierenden Molekülschichten, derart, daß, wenn durch Nähern oder Entfernen der Platten eine Strömung der Schmelze hervorgebracht wurde, doch in einem jeden Bereich die Orientierung erhalten blieb. Mit der Änderung der Dicke der Schicht wechselte dabei die Interferenzfigur genau ebenso, wie dies bei einer Serie von Platten verschiedener Dicke aus einem festen Kristall geschehen würde.

p-Azoxyanisol verhielt sich ähnlich; nur stellte sich bei sorgsam gereinigten Glasplatten regelmäßig von selbst die Orientierung normal zu den Platten ein. Die orientierende Wirkung der die Schicht begrenzenden Glasplatten erstreckt sich dabei nicht in sehr große Tiefe. Mauguin gibt bei *p*-Azoxyanisol als Grenzdicke, innerhalb deren die Orientierung noch homogen ist, 0,02 mm an. Innerhalb einer solchen Dicke ist die spezielle, normal orientierende Wirkung aber so kräftig, daß, wenn man durch Heben oder Andrücken des Deckglases Strömungen innerhalb der Schmelze hervorbringt, deren optisch anisotropes Verhalten sich nicht ändert, nämlich dasjenige einer Platte aus einem einachsigen Kristall normal zur optischen Achse bleibt. Hier ist also in weitgehendem Maße der Idealfall einer „kristallinischen Flüssigkeit" realisiert.

Eine weitere Bestätigung dafür kann man in der etwas späteren Beobachtung Mauguins[1]) sehen, daß bei Anwendung einer sehr starken Lichtquelle derartige Schichten im parallelen Licht zwischen gekreuzten Nikols nicht völlig dunkel erscheinen, sondern im Mikroskop zahlreiche lokale Intensitätswechsel, Aufhellen und Verdunkeln kleiner Bereiche erkennen lassen, die den Eindruck machen, als ob infolge der Wärmebewegung fortwährende Störungen der regelmäßigen Orientierung der Moleküle stattfanden. Diese Störungen steigern sich mit steigender Temperatur, verschwinden aber vollständig, wenn die Schicht in die isotrope Phase übergegangen ist. Bei einigen Flüssigkeiten mit zwei *a*-Phasen ließ die zweite, bei tieferer Temperatur stabile und sehr viel zähere derartige Bewegungen nicht erkennen. Es ist klar, daß sich alle diese Wahrnehmungen gut den Lehmannschen Vorstellungen anschließen; sie haben demgemäß (wie auch andere später zu besprechende Beobachtungen Mauguins) stark für die Einbürgerung jener Vorstellungen gewirkt und manche Forscher[1]), die denselben zuvor lebhaft widerstanden, sachlich für sie gewonnen; auf formale Gegensätze, die mit der Definition eines Kristalles zusammenhängen, wird unten zurückzukommen sein.

Überaus merkwürdige Resultate erhielt Mauguin[2]), als er Schichten von *p*-Azoxyanisol nicht zwischen Glasplatten, sondern zwischen frisch gespaltenen Platten von Glimmer erzeugte, die in ihrer ursprünglichen gegenseitigen Orientierung aufeinander gelegt waren. Glimmer besitzt in der Spaltungsebene drei um 60° gegeneinander geneigte ausgezeichnete Richtungen, die durch die sogenannte „Schlagfigur" sichtbar gemacht werden können. Eine von ihnen ist eine kristallographische Symmetrieachse; die beiden andern mögen auf den beiden Glimmerhälften 1, 2 mit l_1, r_1 und l_2, r_2 bezeichnet werden. Dann geht die Beobachtung von Mauguin dahin, daß die Schicht der *a*-Phase zwischen den beiden Glimmerblättchen nicht homogen ist, sondern in ihr die optische Achse auf der Seite der Platte 1 nach l_1, der Platte 2 nach r_2 orientiert ist (oder bzw. nach r_1 und l_2) und zwischen beiden Seiten sich — rechts oder links gewunden — um 60° dreht. Damit ist eine sehr eigentümliche orientierende Wirkung des Glimmers auf die Moleküle der *a*-Phase festgestellt.

Es mag schließlich bemerkt werden, daß eine anscheinend ziemlich vollständige Parallelorientierung der Moleküle einer anisotropen Schmelze auch auf eine andere mechanische Weise realisiert werden kann. Wie (zuerst wohl) Lehmann bemerkt hat, zeigt eine solche Substanz, während sie durch ein Kapillarrohr fließt, merklich regelmäßige Doppelbrechung, so daß durch um $\pm 45^0$ gegen die Strömungsrichtung geneigte Polarisatoren Interferenzstreifen parallel zur Rohrachse erkennbar sind. Daß eine solche Parallelrichtung der Elemente auch durch ein Magnetfeld hervorgerufen werden kann, folgt aus dem S. 79 Gesagten und wird später erörtert werden.

4. Die Emulsions- und die Suspensionshypothese.

Wie schon im Eingang bemerkt, hat die von Lehmann gegebene Deutung der trüben Schmelzen als mit Kristallen vergleichbarer Gebilde zunächst lebhaften Widerstand gefunden. Wo in anderen Fällen optisch trübe Substanzen beobachtet wurden, hatte sich der Regel nach nachweisen lassen, daß dieselben nicht einheitlich waren, sondern Aggregate räumlich ge-

1) Ch. Mauguin, C. R. **154**, 1359, 1912.

1) S. z. B. G. Friedel und F. Grandjean, C. R. **151**, 327, 442, 762, 988; **152**, 322, 1911.

2) Ch. Mauguin, C. R. **156**, 1246, 1912.

trennter Elemente von verschiedenen Brechungsindizes darstellten. So lag auch bei den erwähnten trüben Schmelzen die Auffassung nahe, daß dieselben in Wahrheit Suspensionen oder Emulsionen seien[1]). Dabei konnten letztere entweder aus chemisch verschiedenartigen Substanzen oder aber aus verschiedenen Modifikationen derselben Substanz bestehen.

Es entstand die Aufgabe, die physikalischen Konsequenzen der beiden Auffassungen möglichst umfassend mit der Beobachtung, am besten mit der Messung zu vergleichen, um auf diese Weise, wenn angängig, eine Entscheidung zwischen ihnen zu treffen. Diese Aufgabe ist nachhaltig und planvoll besonders von Schenck[2]) und dessen Schülern in Bearbeitung genommen worden.

Gegen die erste oben formulierte Annahme, speziell gegen die Vermutung, daß Verunreinigungen die Ursache der Trübung sein möchten, ließ sich die Tatsache geltend machen, daß nach ganz verschiedenen Methoden hergestellte Präparate sich bezüglich der trüben Phase gleich verhielten, daß mäßige künstliche Verunreinigungen die Trübung nicht merklich verstärkten, daß die wohlgereinigten Präparate beim Erstarren gut definierte Kristalle lieferten. Allerdings können die komplizierten in Betracht kommenden Verbindungen bei längerem Erhitzen teilweise Zersetzungen erleiden, und die fremden Produkte dann die Eigenschaften beeinflussen; reine Substanzen zeigen aber auch stets dieselben charakteristischen Eigenschaften[3]).

Es blieb nun eine Möglichkeit, auch bei Ausschließung von fremden Substanzen zu einer Emulsion zu gelangen, wenn die einheitliche feste Substanz beim Schmelzen in zwei chemisch verschiedene, begrenzt ineinander löslichen Flüssigkeiten zerfiele, — ein Vorgang, der in gewissen seltenen Fällen wirklich beobachtet ist und zu einer Emulsion führt[4]). Hier findet dann zwischen den beiden Flüssigkeiten ein thermo-chemisches Gleichgewicht statt, derart, daß die Lösungen von der Temperatur abhängige Zusammensetzung besitzen, und daß bei steigender Temperatur ein Zustand (kritischer Punkt) eintreten kann, wo beide Flüssigkeiten identisch werden und weiterhin auch bleiben. Jener kritische oder Entmischungs-Punkt würde also den Klärungspunkt darstellen.

Gegen eine solche Auffassung spricht (abgesehen von chemischen Bedenken, zu denen die speziellen Substanzen Anlaß geben) von physikalischer Seite zunächst der Umstand, daß nach ihr die Klärung allmählich eintreten müßte, da die beiden Flüssigkeiten ihre Eigenschaften, wenngleich mit wachsender Geschwindigkeit, doch stetig einander annähern. Die Beobachtung zeigt dagegen eine merklich plötzliche Aufhellung bei einer bestimmten Temperatur, ja direkt unterhalb derselben in vielen Fällen mit wachsender Temperatur nicht nur keine Abnahme, sondern sogar eine kleine Zunahme der Trübung. Dies ist durch Messungen von Schenck[1]) angedeutet und durch solche von Nernst[2]) bestätigt worden.

Daß Emulsionen zwar infolge der inneren Reflexionen eine Aufhellung zwischen gekreuzten Nikols zeigen können, daß sie aber die durch die Beobachtung an den trüben Schmelzen festgestellte Doppelbrechung nicht besitzen, sei besonders hervorgehoben. Die Schmelzen haben außerdem spezifische, häufig bei seinen Suspensionen beobachtete Interferenzerscheinungen, nicht erkennen lassen[3]).

Ferner haben alle Versuche einer mechanischen Sonderung zweier Komponenten in den trüben Schmelzen, wenn dieselben wirklich rein waren, sowohl mit Hilfe des Zentrifugierens, als auch mit Hilfe angelegter elektrischen Spannungen negative Resultate ergeben.[4])

Diese Ergebnisse sprechen auch gegen eine veränderte Form der Emulsionshypothese, deren Vertretung später versucht worden ist, als besonders die gehäuften Beobachtungen über die optischen Eigenschaften der anisotropen Phasen das Aufrechterhalten der ursprünglichen Form nicht mehr zuließen. Um jene optischen Eigenschaften zu erklären, wurde speziell von *p*-Azoxyanisol und -phenetol angenommen, daß ihre *a*-Phase eine Suspension von Kriställchen in einer isotropen Flüssigkeit darstellten[5]). Gewiß kann man mit einer solchen künstlich hergestellten Suspension manche der an den *a*-Phasen beobachteten optischen Erscheinungen wiedergeben; z. B. ist bei nadelförmigen Kriställchen sehr wohl verständlich, daß sie sich in einem durch eine Kapillare fließenden Strom der Rohrachse parallel richten und so gemäß S. 81 zu einer regelmäßigen Doppelbrechung der

1) S. dazu insbesondere G. Tammann, Ann. d. Phys. **4**, 524, 1901; **8**, 103, 1902; **19**, 421, 1906.
2) S. insbesondere die S. 76 zitierte Monographie „Kristallinische Flüssigkeiten" von 1905.
3) R. Schenck, l. c. S. 19 u. f.
4) W. Nernst, Zeitschr. f. Elektrochem. **12**, 431, 1906.

1) R. Schenck, Ann. d. Phys. **9**, 1053, 1902.
2) W. Nernst, Zeitschr. f. Elektrochemie **16**, 702, 1910.
3) A. C. de Kock, Zeitschr. f. phys. Chem. **48**, 129, 1904.
4) R. Schenck, Kristallinische Flüssigkeiten S. 35; A. Coehn, Zeitschr. f. Elektrochemie **10**, 856, 1904; G. Bredig u. G. v. Schukowsky, Chem. Ber. **37**, 3419, 1904.
5) Ähnlich bereits bei G. Quincke, Wied. Ann. **53**, 613, 1894.

Flüssigkeit führen. Aber man muß diesen Kriställchen doch ganz wunderbare, an ähnlich ausgedehnten Molekülkomplexen sonst nie beobachtete Eigenschaften beilegen, insbesondere die regelmäßige Orientierung in suspendierten Tropfen und in dünnen Schichten zwischen Glasplatten.

Was die chemische Natur dieser Kriställchen angeht, so ist es keineswegs erlaubt, dieselben etwa einfach mit der umgebenden Schmelze als gleichartig zu denken; denn dann käme man in Widerspruch mit dem Grundsatz der Thermodynamik, daß zwei Phasen derselben Substanz bei vorgegebenem Druck nur bei einer Temperatur nebeneinander im Gleichgewicht sein können, während die a-Phase ein ausgedehntes Temperaturbereich deckt. Man müßte somit die Kriställchen und die Schmelzen als chemisch verschieden annehmen, dabei die erstere in der letzteren lösbar; aber die chemische Natur der fraglichen Substanzen gibt einer solchen Vorstellung keinerlei Stütze. Und so lassen sich noch andere Bedenken geltend machen, die hier nicht erörtert zu werden brauchen.

Nur darauf mag abschließend aufmerksam gemacht werden, daß wenn man, wie geschehen ist, die Suspensionshypothese für die Gattermannschen Substanzen, welche Tropfen bilden, heranzieht, sie aber den Vorländerschen gegenüber, die gewisse Formkräfte erkennen lassen, nicht für nötig hält, der Gewinn an Erklärung doch sehr gering ist, zumal die übrigen physikalischen Eigenschaften beider Klassen von Körpern eine ganz stetige Reihe bilden.

Der Grad der Trübung mag bei den ersten größer sein; vollkommene optische Leere scheint auch bei den zweiten nur selten einzutreten; aber man kann sich wohl vorstellen, daß, wenn Raumelemente mit orientierten Molekülen kristallinische Eigenschaften haben, dann auch in einer sonst regelmäßig orientierten Schicht der Substanz nach Zufall verteilte Elemente in abweichender Lage vorkommen und optisch den Eindruck von suspendierten Fremdkörpern machen können.

5. Die innere Reibung der a- und i-Phasen.

Wie im Eingang bemerkt, hat die Emulsions- und die Suspensionshypothese die Anregung zu vielen messenden Beobachtungen an anisotropen Flüssigkeiten gegeben; es soll über dieselben nunmehr im Zusammenhang berichtet werden.

Von besonderer Wichtigkeit war die Frage, ob (außer der Durchsichtigkeit) andere physikalische Eigenschaften der fraglichen Substanzen beim Klärungspunkt unstetige Änderungen erfahren, und ob, wenn dies statthat, darin ein Argument gegen die Annahme einer Emulsion zu sehen sei. Die in dieser Hinsicht zuerst behandelte Eigenschaft ist die der inneren Reibung, über die mit Hilfe von Beobachtungen über Ausfluß aus Kapillarröhren Tatsachen gewonnen worden sind.

Ein sehr überraschendes Resultat mag vorweg genommen werden. Die innere Reibung der trüben Phase erwies sich mit nichten größer, als die der klaren, obwohl der normale Verlauf der inneren Reibung bei Flüssigkeiten der ist, daß höheren Temperaturen kleinere Werte entsprechen; im Gegenteil ist der entgegengesetzte Fall der häufigere. Die bezüglichen Unterschiede sind sehr beträchtlich; bei p-Azoxyanisol wachsen die Ausflußzeiten bei Überschreitung des Klärungspunktes um etwa 50 Proz.

Die ersten Beobachter[1]) schlossen aus ihren Messungen auf eine wirkliche Unstetigkeit der inneren Reibung bei Überschreitung des Klärungspunktes, und es schien damit der Emulsionscharakter der trüben Schmelze widerlegt zu sein. Bose[2]) hat die Frage theoretisch kritisch behandelt und zunächst die genannten Beobachtungen als mit einem faktisch stetigen Verlauf, wenn auch unter einem starken Knick bei einem großen positiven Differentialquotienten unterhalb, einem kleinen negativen oberhalb desselben, vereinbar erwiesen. Für die Deutung macht er die Annahme, daß der Einfluß der suspendierten Tröpfchen auf die innere Reibung ignoriert werden dürfe, und die Veränderlichkeit der letzteren nur auf der mit der Temperatur wechselnden Zusammensetzung der sie tragenden Flüssigkeit beruhe. Durch die weitere Annahme, daß die Substanz der suspendierten Tröpfchen beträchtlich größere innere Reibung besitze, als die äußere Flüssigkeit, und demgemäß ihre Auflösung in der letzteren deren innere Reibung beträchtlich vermehre, gelingt es ihm dann, einen Verlauf der inneren Reibung, erst für die trübe, dann für die klare Phase plausibel zu machen, der den genannten Beobachtungen, bzw. der sie nach Bose darstellenden Kurve, entspricht. Hierdurch erscheint die Beweiskraft jener Beobachtungen gegen die Emulsionshypothese in der Tat beträchtlich erschüttert; freilich ist damit aber auch kein entscheidendes Argument für diese Hypothese geliefert.

Weil die früheren Beobachtungen in dem für die Beurteilung der Verhältnisse in erster Linie maßgebenden Temperaturbereich direkt unterhalb des Klärungspunktes nicht eindringend

1) S. dazu die Monographie von Schenck; ferner R. Schenck, Zeitschr. f. phys. Chem. **27**, 167, 1898; E. Eichwald, Diss. Marb. 1904; C. Bühner, Diss. Marb. 1906; L. Puccianti, Rend. Linc. (5) **16**, [1], 754, 1907.

2) E. Bose, diese Zeitschr. **8**, 347, 1907.

genug erschienen, haben Bose und Conrat[1]) zahlreiche Ausflußversuche mit Anisaldazin in einem Temperaturbereiche von 164 bis 194° C angestellt, welches den zwischen 182,6 und 182,8° liegenden Klärungspunkt umschließt. Diese Versuche ergaben ein anfängliches langsames Abnehmen der Ausflußzeiten mit wachsender Temperatur, dem direkt unter dem Klärungspunkte ein ebenso langsames, schließlich ein wenig beschleunigtes Ansteigen folgte. Diese auf ca. 20° ausgebreitete Schwankung betrug etwa 10 Proz. des Absolutwertes. Im Bereiche des Klärungspunktes trat dann eine Steigerung der Ausflußzeit um nahe 40 Proz. innerhalb eines Temperaturintervalles von nur $^1/_2{}^0$ C ein. Es scheint einigermaßen zweifelhaft, ob wirklich (wie Bose annimmt) durch diesen Befund die Stetigkeit des Überganges bewiesen ist. In der Tat ist klar, daß jede Fehlerquelle (Temperaturschwankung, Inhomogenität der Schmelze durch teilweise Zersetzung, Verschiedenheit der Klärungstemperatur für die verschiedenen Teile) dahin wirken wird, eine vorhandene Unstetigkeit zu verhüllen, und ein Forscher, der etwa aus theoretischen Gründen von der Unstetigkeit des Überganges überzeugt ist, wird diese Anschauung durch die genannten Resultate kaum als widerlegt betrachten.

Etwa gleichzeitige Beobachtungen von Dickenschied[2]), die sich auf neue von Vorländer hergestellte Substanzen bezogen, haben einen ganz ähnlichen Verlauf der inneren Reibung mit der Temperatur ergeben, wie die früheren Messungen an den Gattermannschen Substanzen, bei zum Teil beträchtlich höheren absoluten Werten.

Dies ist von besonderer Bedeutung, weil die Vorländerschen Substanzen zum Teil eine derartig vollkommene Klarheit besitzen, daß auf sie die (durch die Trübung der anderen Substanzen für jene gestützte) Emulsionshypothese von keiner Seite angewandt worden ist. In der Tat sind diese Beobachtungen auch die Veranlassung dafür gewesen, daß, außer anderen Vertretern, auch Bose später die Emulsionshypothese hat fallen lassen.

6. Thermodynamik des Klärungsvorganges.

Nicht wesentlich anders, als im Vorstehenden bezüglich der inneren Reibung auseinandergesetzt ist, verhält es sich bezüglich der Unstetigkeit anderer physikalischen Eigenschaften bei der Klärungstemperatur. Je nach der Schwierigkeit der Beobachtung und der speziellen Eigenschaften der untersuchten Substanz erscheinen jene Unstetigkeiten mehr oder weniger wahrscheinlich gemacht; in allen Fällen läßt sich die Beweiskraft der Beobachtungen gegen die Emulsionshypothese bestreiten. Andererseits kann in ihnen doch auch eine gewisse Stütze für die Auffassung der trüben und der klaren Schmelze als zweier Phasen desselben einfachen Stoffes gefunden werden, insofern die Erscheinungen mit derselben vereinbar sind.

Es handelt sich zunächst um eine Reihe von Erscheinungen, die durch die allgemeinen Sätze der Thermodynamik für Übergänge zwischen verschiedenen Phasen (1) und (2) eines Einstoffsystems miteinander mehr oder weniger in Beziehung gesetzt werden[1]). Von diesen Beziehungen kommen in Betracht 1. die Clausius-Clapeyronsche Gleichung

$$\frac{d\vartheta}{dp} = \frac{T\omega}{J\lambda} \qquad (1)$$

zwischen dem Gradienten der Umwandlungstemperatur ϑ und dem Druck, der begleitenden Volumenänderung ω und der Wärmeaufnahme λ, wobei T die absolute Temperatur und J das mechanische Wärmeäquivalent bezeichnet; 2. die Clausiussche Beziehung

$$\frac{T\,d(\lambda/T)}{dT} = \bar{c}_1 - \bar{c}_2 \qquad (2)$$

zwischen der Temperaturabhängigkeit der Umwandlungswärme und den spezifischen Wärmen der beiden Phasen längs der Übergangskurve.

Weiter ist herangezogen worden das aus der Theorie der Lösungen gewonnene Gesetz für die Depression der Übergangstemperatur zwischen zwei Phasen infolge von Beimengungen. Geht die Beimengung in die eine Phase (z. B. die feste im Falle des Schmelzvorganges) nicht ein, dann ist die Depression τ gegeben durch den Ausdruck

$$\tau = \frac{BT^2q}{J\lambda}, \qquad (3)$$

wobei B die Konstante des Boyle-Gay-Lussacschen Gesetzes und q das Mischungsverhältnis in der zweiten Phase bezeichnet.

Die Beobachtungen[2]) bezogen sich auf die Dichteänderungen ω, die Wärmeaufnahmen λ,

1) E. Bose u. F. Conrat, diese Zeitschr. **9**, 169, 1908.

2) Fr. Dickenschied, Diss. Halle 1908. Dort auch Beobachtungen über die Änderung der Dichte und der Kapillarkonstanten bei den Übergängen.

1) S. dazu die umfassende Darstellung in der Monographie von R. Schenck, S. 44 u. f.

2) R. Schenck, Zeitschr. f. phys. Chem. **25**, 341, 1898; G. A. Hulett, Zeitschr. f. phys. Chem. **28**, 269, 1899; R. Schenck u. Fr. Schneider, ebenda, **29**, 552, 1899; K. Auwers, ebenda **32**, 60, 1900; A. C. de Kock, ebenda **48**, 137, 1904; A. Amerio, Nuovo Cim. V (2), 281, 1901; E. Eichwald, Diss. Marburg 1904; C. Bühner, Diss. Marburg 1906.

die thermische Änderung der Übergangstemperatur $d\vartheta/dp$, die spezifischen Wärmen c_1, c_2 und die Änderung τ der Übergangstemperatur. Die Resultate gaben der Größenordnung nach Übereinstimmung mit den thermodynamischen Gesetzen, und die numerischen Abweichungen konnten teils auf Fehlerquellen, teils auf Nichterfüllung der Voraussetzungen der Theorie geschoben werden. Insbesondere durfte die schlechte Erfüllung der Gleichung (3) dadurch als erklärt angesehen werden, daß sich nachweisen ließ, die der Schmelze zugefügte Beimengung trete ebensowohl in die klare, wie in die trübe Phase ein.

Was die Größenordnungen der auf den Übergang bezüglichen Veränderungen angeht, so erwiesen sich dieselben als sehr verschieden. λ und ω fanden sich sehr klein, demgemäß $d\vartheta/dp$ mäßig und τ — in Übereinstimmung mit (3) — beträchtlich. —

Bei Untersuchung der Einwirkung von fremden Beimengungen fand sich u. a. das interessante Resultat, daß gewisse von ihnen (z. B. Zusatz von Benzophenon zu p-Azoxyanisol) den Klärungspunkt so viel schneller herabdrücken, als den Schmelzpunkt, daß die den Verlauf

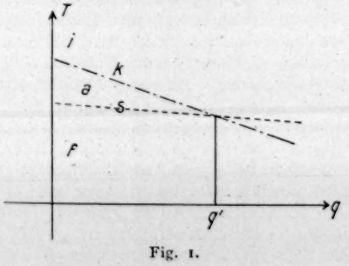


Fig. 1.

darstellenden Kurven sich schneiden. Bei einer gewissen Konzentration q' koexistieren dann also die feste Phase (f) mit der klaren (i) und der trüben (a) Schmelze zugleich; bei größeren ist nur das Paar (f,i) stabil. Es ist aber von Interesse und kann als Stütze für die Annahme homogener Phasen gelten, daß man durch vorsichtiges Unterkühlen nicht nur die i-Phase unterhalb des Erstarrungspunktes erhalten, sondern auch in die a-Phase überführen kann. Es wird damit also die Grenzkurve zwischen zwei labilen Phasen erreicht und überschritten, wie dies bei zweifellos homogenen Phasen gleichfalls ausgeführt worden ist.

Nicht minder hat sich bei Schmelzen mit Zusätzen jene schmale inhomogene Grenzzone zwischen der homogenen i- und der homogenen a-Phase von gleichen Konzentrationen q nachweisen lassen, die von der Thermodynamik gefordert wird. Dieselbe entsteht dadurch, daß bei Abkühlung der klaren Schmelze sich zunächst ein Gleichgewicht zwischen der klaren Schmelze von der Konzentration q und einer trüben von einer anderen Konzentration q_1 bildet und aus diesem Gemisch bei weiterer Abkühlung eine homogene Phase von der Konzentration q entsteht, während bei Erwärmung von hier aus zunächst die trübe Schmelze mit einer klaren von einer (dritten) Konzentration q_2 ins Gleichgewicht kommt, und dieses Gemisch sich zur klaren Schmelze entwickelt, von der oben ausgegangen worden ist.

Auch das Verhalten der Gemische von zwei „flüssige Kristalle" bildenden Substanzen ist untersucht worden, und es hat sich dabei, trotz der in gewisser Hinsicht prinzipiell verschiedenen Bedingungen, manche auffallende Analogie zu dem Verhalten fester Mischkristalle ergeben.

Diese im Gebiet der Thermodynamik gewonnenen Ergebnisse mögen, wie gesagt, keine hinreichenden Stützen für die Annahme einer homogenen anisotropen Phase sein, aber sie sind notwendige Konsequenzen einer solchen, und ihre Feststellung hat auch dann Bedeutung, wenn, wie oben schon angedeutet ist, der zwingende Beweis auf anderem Gebiete geliefert ist.

7. Dielektrizitäts- und Kapillarkonstanten.

Das Verhalten der Dielektrizitätskonstante ε innerhalb der a- und der i-Phase ist wiederholt der Gegenstand der Messung gewesen. Außer älteren, bereits in der S. 76 erwähnten Monographie von Schenck besprochenen Beobachtungen[1]) kommen hier neuere Messungen von Specht[2]) und Sultze[3]) in Betracht. Diese letzteren ergaben bei den untersuchten Gattermannschen und Vorländerschen Substanzen kleine Unstetigkeiten von ε in den Übergangspunkten, die früheren Beobachtungen zum Teil entgangen waren.

Diese Unstetigkeiten ließen sich bei p-Azoxyanisol im wesentlichen durch die Änderungen der Dichten ρ begründen, welche nach den Messungen von Dickenschied[4]) den bezüglichen Übergang begleiteten, wenn man dafür die H. A. Lorentzsche Regel zur Anwendung brachte, nach der unter gewissen Voraussetzungen für eine Substanz

1) R. Schenck, Kristallinische Flüssigkeiten, S. 30 u. f.; R. Abegg u. Seitz, Zeitschr. f. phys. Chem. **29**, 491, 1891; E. Eichwald, Diss. Marburg 1904.
2) B. Specht, Diss. Halle 1908.
3) C. Sultze, Diss. Halle 1908.
4) Fr. Dickenschied, Diss. Halle 1908.

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{1}{\varrho} = K \qquad (4)$$

d. h. konstant sein sollte. Wo sich eine solche Erklärung nicht genügend erwies, zeigten sich auch innerhalb der Phasen Abweichungen gleicher Ordnung von dem Lorentzschen Gesetz. Man kann daraus schließen, daß die immer kleinen Änderungen der Konstanten K in Umwandlungspunkten wahrscheinlich nicht auf Änderungen der chemischen Konstitution zu deuten sind.

Das letztere Resultat ist auch gegen die nach S. 82 von manchen Forschern vertretene Anschauung geltend gemacht worden, daß die trübe Schmelze eine Suspension von festen Kriställchen wäre; denn da nach der Erfahrung die feste Phase der Regel nach eine beträchtlich größere Dielektrizitätskonstante besitzt, als die flüssige, so ließe die trübe Schmelze bei jener Auffassung eine beträchtlich größere Dielektrizitätskonstante erwarten, als die klare. Doch kann man die zwingende Kraft einer solchen Folgerung bezweifeln. —

Beobachtungen über Kapillaritätskonstanten α sind erst von Schenck[1]) an p-Azoxyanisol und -phenetol und Cholesterylbenzoat, später von Dickenschied[2]) an zwei Vorländerschen Substanzen angestellt worden.

Derartige Beobachtungen haben eine prinzipielle Bedeutung für die Deutung der verschiedenen flüssigen Phasen, weil sie mit Hilfe eines von Eötvös angegebenen, in neuerer Zeit auch theoretisch begründeten Satzes zu einer Vergleichung der Molekulargrößen der trüben und der klaren Phase benutzt werden können. Jener Satz setzt nämlich das Temperaturgefälle des Quotienten aus Kapillaritätskonstante und der $^2/_3$ ten Potenz der Dichte mit der $^2/_3$ ten Potenz des Molekulargewichtes indirekt proportional. Die Beobachtung hat nun ergeben, daß jedenfalls bei p-Azoxyanisol und bei p-Azoxyphenetol nach jenem Satz die Molekulargrößen in den genannten beiden Phasen als gleich erscheinen. Kleine Differenzen des bez. Temperaturgefälles sind ja offenbar nicht auf die Änderung von Molekulargrößen zu schieben, die sich in beträchtlichen Sprüngen vollziehen müßten.

Bei den von Dickenschied untersuchten Substanzen mit zwei a-Phasen ist das Verhalten beim Übergang $a_I \rightleftarrows i$ so, daß man dort gleichfalls auf eine Konstanz der Molekulargröße schließen dürfte. Ganz abweichend ist das Verhalten von α im Bereiche des Überganges $a_{II} \rightleftarrows a_I$, wo a_{II} einen negativen, a_I einen positiven Temperaturkoeffizienten zu haben scheint, also die Temperaturabhängigkeit sich durch eine nach unten gerichtete starke Ecke oder Spitze ausdrückt. Eine befriedigende Deutung dieses Verlaufes ist noch nicht gegeben.

1) R. Schenck, Zeitschr. f. phys. Chem. **25**, 346, 1898.
2) Fr. Dickenschied, l. c.

8. Verschiedene Typen von Substanzen mit a-Phasen.

Während die physikalischen Beobachtungen und Überlegungen im Sinne der Elimination der Emulsionshypothese wirkten, hatte auch die chemische Arbeit sich in der gleichen Richtung bewegt. Es kommen hier in erster Linie die umfänglichen und zielbewußten Untersuchungen Vorländers[1]) in Betracht, die der ganzen Frage eine ungemein große Förderung gegeben haben und auf die oben schon wiederholt hingewiesen worden ist. Kann auch nach der Anlage dieses Berichtes auf die Ergebnisse dieser Arbeiten nach chemischer Seite nicht näher eingegangen werden, so muß doch (neben einigen direkt physikalisch wichtigen Resultaten) ein jene allgemein charakterisierender Abschnitt aus Vorländers Monographie[2]) hier Platz finden.

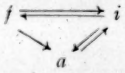
Vorländer sagt: „Etwa 170 kristallinisch-flüssige Substanzen wurden neu aufgefunden und geprüft. Sie sind weit verbreitet unter den organischen Verbindungen und finden sich besonders bei vielen Benzolderivaten, bei Karbonsäuern, Estern, Phenoläthern, Ketonen, Aminen, Nitroverbindungen, Azinen, Arylidenaminen, Azo- und Azoxy-Verbindungen u. a. m. Die Beziehungen zur chemischen Konstitution sind so einfach, daß man jetzt kristallinisch-flüssige Substanzen in beliebiger Anzahl synthetisch darzustellen vermag, während man vor zwei Jahren nur einige wenige Vertreter kannte. Das Resultat der chemischen Untersuchung läßt sich in den Satz zusammenfassen: Der kristallinisch-flüssige, anisotrope Zustand wird durch eine möglichst lineare Struktur der Moleküle hervorgerufen. Doch nicht jedes linear gebaute Molekül ist im flüssigen Zustande kristallinisch. Wie überall auf solchem Gebiete physikalischer und chemischer Eigenschaften treffen auch hier mehrere Umstände zusammen. Wir finden im günstigsten Falle einige den Zustand beeinflussende Faktoren heraus, doch es fehlt die Kenntnis, wie die Faktoren miteinander wirken."

Man darf wohl behaupten, daß diese Feststellungen im hohen Grade für jene Auffassung

1) D. Vorländer, Zeitschr. f. phys. Chem. **57** (3) 361, 1906; Ber. d. D. Chem. Ges. **40**, 4532, 1907; 41, 2045, 1908. Außerdem auch F. M. Jaeger, Amst. Proc. **9**, 359, 472, 483, 1906; Chem. Zentralbl. 1907, (2), 1321.
2) D. Vorländer, Kristallinisch-flüssige Substanzen, S. 43.

sprechen, daß es sich bei den anisotrop-flüssigen Körpern wirklich um Zustände einfacher Körper handelt, die weitgehende Analogien zum kristallinischen Zustand besitzen.

Von wesentlichem physikalischen Interesse sind einige Resultate Vorländers, die sich auf die Zahl und Art der möglichen Umwandlungen beziehen, welche Körper mit flüssig-anisotropen Phasen erfahren können. Schon Lehmann hatte bemerkt, daß neben Substanzen, die gemäß dem Schema $f \rightleftarrows a \rightleftarrows i$ Übergänge von der festen in die a-Phase und von dieser in die i-Phase in vollkommen umkehrbarer Weise (enantiotrop) zulassen, solche existieren, deren a-Phasen nur (monotrop) von der Seite der i-Phase erreichbar ist. Dabei kann aber die Abkühlung der letzteren ebensowohl auf die anisotrop-flüssige als auf die feste Phase führen, wie dies durch das Schema:

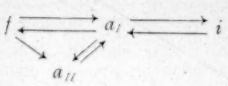


erläutert wird. Vorländer hat diese Verhältnisse näher studiert und die große Rolle festgestellt, welche bei der Bestimmung der Art der Umwandlung die Größe der vorgenommenen Unterkühlung der isotropen Schmelze spielt. Er hat auch eingehend die Komplikationen untersucht, die eintreten, wenn die feste Phase in zwei Modifikationen existiert und die anisotrop-flüssige einen Übergang nach beiden hin besitzt.

Ganz besonderes Interesse erweckt aber die Entdeckung Vorländers, daß es Substanzen gibt, welche in zwei bis vier a-Phasen existieren können, zwischen denen eine Grenze von derselben Schärfe existiert, wie zwischen der festen und einer a-Phase. Die verschiedenen a-Phasen unterscheiden sich nicht nur durch die Kristallform isoliert suspendierter kleiner Massen, sondern auch durch die physikalischen Eigenschaften der Schmelzen, insbesondere durch ihre innere Reibung.

Bei diesen Substanzen entstehen je nach der Umkehrbarkeit oder Nichtumkehrbarkeit der verschiedenen Übergänge neue Typen. Es möge genügen, hier nur Fälle mit zwei anisotrop-flüssigen Phasen in Betracht zu ziehen. Eine in allen Umwandlungen umkehrbare Substanz von dem Schema: $f \rightleftarrows a_{II} \rightleftarrows a_I \rightleftarrows i$ ist der von Vorländer und Wilke hergestellte Anisal-p-aminozimtsäureäthylester. Die Umwandlungstemperaturen liegen bei 108°, 117°, 136°.

Kompliziertere Verhältnisse treten ein, wenn einer der Übergänge nicht umkehrbar ist; ein Beispiel bietet Cholesterin-Caprinat, welches sich gemäß dem Schema:



verhält. Noch mehr verwickeln sich die Verhältnisse, wenn neben mehreren a-Phasen auch noch mehrere feste existieren. Es soll hierauf nicht eingegangen werden.

(Fortsetzung folgt.

Personalien.

(**Die Herausgeber bitten die Herren Fachgenossen, der Redaktion von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.**)

Habilitiert: An der Technischen Hochschule Berlin Dr. Alfred Schaarschmidt für Technologie der Teerfarbstoffe, an der Universität Kiel Dr. Karl Freudenberg für Chemie.

Ernannt: Das Mitglied der Schulabteilung beim Magistrat Lodz Stanislaw Garlicki zum Professor für darstellende Geometrie an der Technischen Hochschule Warschau, Physiker Dr. Orgler zum Kais. Regierungsrat und Mitglied des Patentamts in Berlin, der a. o. Professor an der Universität Leipzig Dr. med. Max Siegfried zum ord. Honorarprofessor für Physiologische Chemie daselbst.

Verliehen: Dem Privatdozenten der Physik an der Universität Zürich Dr. Heinrich Greinacher der Titel Professor.

Gestorben: Der ord. Professor der Physik an der Universität von Michigan in Ann Arbor Dr. Karl Eugen Guthe, der a. o. Professor für synthetische Geometrie an der Universität Heidelberg Dr. Wolfgang Vogt (am 4. März gefallen), der ord. Professor für Chimie appliquée aux industries des matières colorantes am Conservatoire national des arts et métiers in Paris Daniel Auguste Rosenstiehl.

Vorlesungsverzeichnis f. das Sommersemester 1916.

Technische Hochschule Aachen.

Stark: Experimentalphysik II: Atomdynamik, Optik, Thermodynamik, 4; Physikalisches Praktikum: a) Praktische Übungen aus allen Teilen der Physik für Anfänger, 4 oder 6, b) Anleitung zu selbständigen physikalischen Untersuchungen (Dissertationen), tägl. — **Seitz:** Theoretische Physik: Theorie der elektrischen Schwingungen und elektromagnetische Lichttheorie, 2; Experimentalphysik, enzyklopädischer Kursus: Wärme, Schall, Licht, 2. — **Steubing:** Photographie I, für Anfänger, II, für Fortgeschrittene, 1, Übungen, 2; Theorie der Wärmestrahlung, 1. — **Hopf:** Quantentheorie, 1; Variationsprinzipien der Mechanik, 1. — **Schreber:** Technische Thermodynamik, 2. — **Grotrian:** Allgemeine Elektrotechnik, 5; Theoretische Elektrotechnik, 2; Elektrotechnisches Praktikum, 8. — **Rasch:** Ausgewählte Kapitel der praktischen Elektrotechnik, 1; Einleitung in die Elektrotechnik, 2; Konstruktionslehre der Elektrotechnik, 3; Elektrotechnische Konstruktionsübungen, 2. — **Finzi:** Elektrische Zentralanlagen und Leitungen, 2, Übungen, 2; Elektromotorische Antriebe in Berg- und Hüttenwerken, 2. —

Bredt: Organische Experimentalchemie I, 4; Allgemeine Übersicht über die organische Chemie, 2; Organisches Praktikum (mit Lipp). — **Classen:** Allgemeine

und anorganische Experimentalchemie, 4; Anorganisches Praktikum; Elektroanalytisches und elektrochemisches Praktikum. — **Rau**: Chemische Technologie II: Anorganische Industrien, 2, IV. 2; Entwerfen von chemischen Apparaten und Fabrikanlagen, Übungen, 4; Chemisch-technisches Praktikum (mit Lambris und Salmang). — **Ruer**: Physikalische Chemie II, 2; Ausgewählte Kapitel der physikalischen Chemie, 1; Übungen in physikalischer Chemie für Hüttenleute, 3, für Chemiker, 1 Vormittag, für Fortgeschrittene: Ausführung selbständiger wissenschaftlicher Arbeiten; Allgemeines hüttenmännisches Praktikum, 3. — **v. Kapff**: Chemische Technologie der Gespinstfasern: Färberei, Bleicherei usw., 2, Übungen, 4. — **Lambris**: Kalk- und Zementindustrie, 1. —

Blumenthal: Höhere Mathematik III, 3; Elemente der Differential- und Integralrechnung mit Übungen, 5, Übungen, 1. — **Hamel**: Höhere Mathematik I, 6, Übungen, 2; Ausgewählte Kapitel der Mathematik: Funktionentheorie, 2 *g*. — **v. Kármán**: Mechanik I: Übersicht über Dynamik des Punktes und starren Körpers, Festigkeitslehre, Hydraulik, 4, Übungen, 1, II: Dynamik und Hydraulik, 3, Übungen, 1; Flugtechnische Aerodynamik, 2 *g*. — **Kötter**: Darstellende Geometrie II, 2, Übungen, 2; Elemente der darstellenden Geometrie, 2, Übungen, 2. — **Gast**: Praktische Geometrie I, 2, II, 1; Geodätisches Praktikum I, 1 Tag, II, 1 Nachmittag; Geodätische Ausarbeitungen, Übungen, 4; Geographische Ortsbestimmung, 2, Übungen, 2; Höhere Geodäsie, 2. — **Wilski**: Markscheiden und Feldmessen II, 3, Übungen (mit Wandhoff und Nysten), 1 Tag. — **Wandhoff**: Markscheiderische Zeichen- und Rechenübungen, 2. —

Universität Basel.

Hagenbach: Experimentalphysik I, 6; Physikalisches Praktikum für Vorgerücktere, ganztägig, für Anfänger (mit Veillon und Zickendraht), 8; Demonstrationsexperimente, 1; Physikalisches Kolloquium, 14 tägig, 2 *g*. — **Veillon**: Handfertigkeitspraktikum (mit Zickendraht), 2. — **Matthies**: Optik, 4, Übungen, 1 *g*; Elastizitätstheorie, 2; Mathematisch-physikalisches Seminar, 2 *g*. — **Zickendraht**: Elektrotechnische Messungen an Maschinen, 2. —

Rupe: Die Methoden der organischen Synthese, 3; Chemisches Vollpraktikum für organische Chemie, tägl.; Chemisches Kolloquium (mit Fichter und Bernoulli), 1 *g*. — **Fichter**: Anorganische Experimentalchemie, 6; Analytisches Halbpraktikum für Anfänger (mit Bernoulli), 9, für Mediziner: Übungen in der qualitativen Analyse; Chemisches Vollpraktikum: Anorganische und elektrochemische Übungen und Arbeiten, tägl. — **Kreis**: Chemie der Nahrungs- und Genußmittel II, 2; Übungen in der Untersuchung von Lebensmitteln, 4; Arbeiten im Laboratorium für angewandte Chemie, tägl. — **Bernoulli**: Physikalische Chemie der Metalle und Legierungen, 1; Kinetische Theorie der Gase und Suspensionen, 1; Physikalisch-chemisches Praktikum für Anfänger, 4; Physikalisch-chemisches Vollpraktikum; Übungen und Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. —

Spieß: Kurven und Flächen, 4; Ein Kapitel der Geometrie, 3; Mathematisches Seminar (mit Hecke), 1 *g*. — **Hecke**: Differential- und Integralrechnung II, 4, Übungen, 1 *g*; Einführung in die Theorie der linearen Integralgleichungen, 2. — **Flatt**: Pädagogisches Seminar, math.-naturwissenschaftliche Abteilung II, 2; Darstellende Geometrie, 2. — **Knapp**: Populäre Astronomie II, 1; Geographische Ortsbestimmungen, 2, Astronomische Übungen, 2—3; Erdbeben, 1 *g*. —

Universität Berlin.

Rubens: Experimentalphysik I; Mechanik, Akustik, Wärmelehre, 5, Mathematische Ergänzung, 1 *g*; Physikalisches Kolloquium, $1^1/_2$ *g*; Arbeiten im Physikalischen Laboratorium, für Geübtere (mit Wehnelt), tägl. — **Planck**: Mechanik deformierbarer Körper, 4; Mathematisch-physikalische Übungen, 1 *g*. — **Wehnelt**: Mathematische Ergänzungen zum physikalischen Praktikum, 1 *g*; Praktische Übungen für Anfänger I und II (mit Blasius), 7; Physikalisches Praktikum für Pharmazeuten, 3; Praktikum zur Erlangung von Handfertigkeit für das physikalische Arbeiten, 3. — **Hellmann**: Theoretische Meteorologie, 1; Meteorologisches Kolloquium, 1 *g*. — **Warburg**: Elektrisches Leitungsvermögen, 2. — **Schmidt**: Erdmagnetismus, 2; Allgemeine Theorie periodischer Vorgänge, 1 *g*. — **Neesen**: Geometrische Optik und optische Instrumente, 2. — **Blasius**: Übungen im Anschluß an das Praktikum, 1 *g*. — **E. Meyer**: Ausgewählte Kapitel der technischen Mechanik, 2. — **Born**: Kinetische Theorie der festen Körper, 3; Kapillarität, 1 *g*. — **Weinstein**: Allgemeine Mechanik und Mechanik der starren Systeme, 4; Vektoranalysis der physikalischen Größen, 2; Geschichte der Physik vom 19. Jahrhundert ab, 1 *g*. — **Krigar-Menzel**: Verschiedene Gebiete der theoretischen Physik, 4. — **Leß**: Praktische Wetter- und Klimakunde, 1; Über die jeweiligen Witterungsvorgänge, 1 *g*. — **Byk**: Absolutes Maßsystem und physikalischer Dimensionsbegriff, 1. — **Henning**: Theorie elektrischer Schwingungen, 2. — **Kiebitz**: Atmosphärische Elektrizität, 1. — **Reiche**: Kinetische Theorie der Gase, 2. — **Scheffer**: Angewandte wissenschaftliche Photographie, mit praktischen Übungen, 1; Grundlagen der wissenschaftlichen Mikroskopie und Mikrophotographie, 1 *g*. —

Fischer: Praktische Arbeiten im Chemischen Laboratorium (mit Gabriel, Traube, Leuchs und Stähler), tägl., Kursus für Mediziner und Zahnärzte (mit Schoeller und Schrauth), 6. — **Nernst**: Anorganische Experimentalchemie, 5; Praktische Übungen und Arbeiten im physikalisch-chemischen Laboratorium (mit Marckwald), tägl. — **Beckmann**: Chemische Untersuchungen, tägl. *g*. — **Wichelhaus**: Technologie für Chemiker: Anorganische Stoffe, 4; Übungen (mit Großmann), tägl.; Anleitung im Institut (mit Großmann), tägl. — **Gabriel**: Organische Experimentalchemie, 5. — **Thoms**: Pharmazeutische Chemie, organischer Teil, 4; Praktische Übungen und Arbeiten in pharmazeutischer, toxikologischer und Nahrungsmittel-Chemie, tägl. — **Traube**: Quantitative chemische Analyse, 1. — **Biedermann**: Explosivstoffe, 2. — **Fock**: Physikalische Chemie, 1; Kristallstruktur, 1. — **Marckwald**: Anorganisch-chemisches Praktikum, tägl. — **Rosenheim**: Anorganisch-chemisches Praktikum (mit R. J. Meyer), tägl.; Übungen in der Experimentalchemie, besonders für Lehrer und Lehrerinnen (mit R. J. Meyer), 8; Praktische Übungen in der Gas- und Maßanalyse, 4. — **v. Buchka**: Chemie der Nahrungsmittel, Genußmittel und Gebrauchsgegenstände, 4. — **Jacobson**: Besprechung chemischer Tagesfragen, 1. — **Spiegel**: Anorganische Chemie, für Zahnärzte, 3. — **Neuberg**: Arbeiten auf dem Gebiete der Biochemie, tägl.; Organisch-chemische Arbeiten, tägl. — **Sachs**: Konstitutionsbestimmung organischer Verbindungen, 1. — **Meisenheimer**: Überblick der organischen Experimentalchemie, 3, Ergänzungen, 2; Anorganisch- und organisch-chemisches Praktikum, tägl. — **Großmann**: Besprechung chemisch-technischer und wirtschaftlicher Tagesfragen, mit Exkursionen, $1^1/_2$. — **Houben**: Chemische Entdeckungen und ihre Geschichte, 1 *g*. — **Leuchs**: Neuere organische Arbeiten, 1 *g*. — **Pringsheim**: Alkoholische Gärung, 1. — **Anselmino**: Arzneimittelgesetzgebung, 1. — **Lenz**: Untersuchung von Nahrungs- und Genußmitteln, $1^1/_2$; Mikrochemische Analyse, 2. — **Schrauth**: Die Methodik der Arzneimittelsynthese, 1. —

Schwarz: Differentialrechnung, 4, Übungen, 14 tägig, 2 *g*; Theorie der analytischen Funktionen I, 4; Analytische Geometrie der Raumkurven, 2 *g*; Mathematisches Seminar (mit Frobenius und Schottky), 2 *g*. — **Foerster**: Geschichte der Astronomie, 2 *g*; Grundlehren der Zeit- und Ortsbestimmung, 1 *g*; Zur Geschichte der kosmischen Harmonielehre, 1 *g*. — **Helmert**: Geodätische Dreiecke, 1 *g*. — **Frobenius**: Theorie der Determinanten, 4. — **Schottky**: Analytische Geometrie, 4. — **Struve**: Praktische Astronomie, Theorie der Instrumente, 3; Übungen

auf der Sternwarte für Fortgeschrittene, *g.* — **Cohn**: Theorie der Beobachtungsfehler, 3, Übungen im Seminar, 2 *g.* — **Rothe**: Differentialgeometrie, 4. — **Knopp**: Integralrechnung, 4, Übungen, 1 *g*; Elliptische Funktionen, 4. — **Schur**: Theorie der Integralgleichungen, 4; Gewöhnliche Differentialgleichungen, 4; Über den Integralbegriff, 1 *g.* — **Marcuse**: Geographische Ortsbestimmung mit geographisch-, nautisch- und aeronautisch-astronomischen Übungen, 1½; Einführung in die astronomische Geographie und kosmische Physik, mit Lichtbildern, 1½; Die Naturwissenschaft im Dienste des Krieges, mit Lichtbildern, 1 *g.* — **Witt**: Geometrische Optik: Fernrohr, 2; Übungen am Fernrohr, 6 *g.* — **Schweydar**: Analyse der Meeresgezeiten, 1 *g.* —

Technische Hochschule Berlin.

Kurlbaum: Experimentalphysik: Wärme, Optik, 4; Physikalische Übungen, 4. — **Krigar-Menzel**: Allgemeine Mechanik II: Gleichgewicht und Bewegung von elastischen, festen und flüssigen Körpern, 4; Einführung in die kinetische Gastheorie, 2. — **Grunmach**: Magnetische und elektrische Maßeinheiten und Meßmethoden, 2; Physikalische Maßbestimmungen und Meßinstrumente (Physikalische Übungen), 4. — **Kalischer**: Die physikalischen Grundlagen der Elektrotechnik I, 2; Elektrische Schwingungen und drahtlose Telegraphie, 1; Elektromagnetismus und Induktion mit besonderer Berücksichtigung der Elektrotechnik, 4; Grundzüge der Elektrochemie, 2. — **Berndt**: Temperaturmessungen, 1. — **Kaßner**: Der Wind nach Entstehung, Messung und Ausnutzung für Hoch- und Hafenbau, See- und Luftschiffahrt, sowie für Windmotorenbau, 1. — **Kock**: Methoden zur Aufnahme von schnell verlaufenden elektrischen und magnetischen Erscheinungen: Oszillographen usw., 2; Meßmethoden der drahtlosen Telegraphie, 2. — **Möller**: Beleuchtungstechnik, 1. — **Petzoldt**: Die Relativitätstheorie, 1 *g.* — **Pirani**: Elemente der graphischen Darstellung und des graphischen Rechnens, mit besonderer Berücksichtigung physikalischer und technischer Anwendungen, 1; Ausführung kleinerer physikalischer Experimentaluntersuchungen, mit besonderer Berücksichtigung der Licht- und Temperaturmessungen, 2. — **Zehnder**: Angewandte Physik mit Exkursionen in technischen Betrieben, 2. — **Günther**: Anwendung der Photographie zum Messen in der Technik: Photogrammetrie, mit Lichtbildern und Demonstrationen, 2. — **Orlich**: Grundlagen der Elektrotechnik, 4, Übungen, 2; Übungen im Elektrotechnischen Laboratorium, 12; Elektrotechnische Meßkunde, 2, Übungen, 2. — **Wedding**: Übungen im Elektrotechnischen Laboratorium, 4; Elektrotechnische Meßkunde, 2; Beleuchtungstechnik, 2. — **Franke**: Elektrische Fernmeldetechnik einschließlich drahtlose Telegraphie, 4, Übungen, 6; Entwerfen von Instrumenten und Apparaten der Meß- und Fernmeldetechnik, 2. — **Klotz**: Elektromaschinenbau, 4, Übungen, 8, Abgekürzte Vorlesung, 2; Übungen im Elektrotechnischen Versuchsfelde, 4. — **v. Parseval**: Motorluftschiffe, 2; Flugzeuge, 2; Übungen im Bau von Luftfahrzeugen, 2. — **W. Reichel**: Elektrische Kraftanlagen und Bahnen, 4, Übungen, 4. — **Benischke**: Allgemeine Wechselstromtechnik, 4. — **Breslauer**: Berechnung und Prüfung elektrischer Maschinen nach den in der Praxis herrschenden Gepflogenheiten, 2. — **Faßbender**: Einführung in die drahtlose Telegraphie, 2. — **Rüdenberg**: Selbstinduktion und Streuung in elektrischen Maschinen, 2. — **Wagner**: Ausgewählte Kapitel aus der Hochspannungstechnik, 2. — **Zehme**: Elektrische Stadtschnellbahnen und Vorortsbahnen, 2. — **Krell**: Schiffselektrotechnik, 2. — **Dietzius**: Luftschiffbau und Luftschiffahrt, 1. —

Hofmann: Experimentalchemie: Chemie der Metalle mit Einführung, 4; Praktische Arbeiten im anorganischen Laboratorium, tägl.; Gasanalyse, Übungen, 2. — **v. Buchka**: Chemie der Nahrungsmittel mit Berücksichtigung der Nahrungsmittelanalyse und Bakteriologie, 4; Chemisch-technische Analyse, 2. — **Dolezalek**: Angewandte Elektrochemie, 2; Kleines physikalisch-chemisches und elektrochemisches Praktikum, 2 halbe Tage; Praktische Arbeiten im physikalisch-chemischen und elektrochemischen Institut, tägl. — **Holde**: Untersuchung der Kohlenwasserstofföle und verwandter Produkte: Schmieröle, Treiböle, Leuchtöle, Paraffin, Ceresin, Asphalt usw., 2. — **Miethe**: Spektralanalyse, mit Übungen, 2; Photochemie und photochemische. Prozesse, 2; Konstruktionstypen photographisch-optischer Instrumente, 1; Praktische Arbeiten im photochemischen Laboratorium, für Photochemiker, tägl.; Photographische Übungen in den gebräuchlichen Prozessen, 16. — **Pschorr**: Organische Chemie II: Aromatische Reihe, zyklische Verbindungen, Farbstoffe, Alkaloide usw., 4; Praktische Arbeiten im organischen Laboratorium, tägl. — **Reisenegger**: Chemische Technologie I, 4; Glas, Keramik, Apparatenkunde, 4; Praktische Arbeiten im technisch-chemischen Institut, tägl. — **Traube**: Thermochemie, 2; Physikalisch-chemische Übungen, 3; Kolloquium über Chemie der Kolloide, 1. — **Arndt**: Anwendungen der physikalischen Chemie auf technische Vorgänge, 1. — **Bucherer**: Die Grundzüge der Färberei und Druckerei, 1. — **Byk**: Einführung in die mathematische Behandlung der Naturwissenschaften, 2. — **Endell**: Ausgewählte Kapitel der Mineralchemie, nebst technischen Anwendungen, 1. — **v. Girsewald**: Praktische Kalorimetrie mit Übungen, 2. — **Guertler**: Physikalische Chemie der Metallegierungen II: Konstitution ternärer Systeme, 2; Mineralsynthesen, 1. — **Just**: Chemische Elektronenlehre, 1. — **Lehmann**: Die Farbenphotographie, 1. — **Liebermann**: Methoden zur Konstitutionsbestimmung organischer Verbindungen, 1. — **Loewenherz**: Erläuternde Vorträge zu den Führungen durch das Chemische Museum: Organischer Teil, 1 *g*; Die Produkte der chemischen Industrie, ausgewählte Kapitel im Anschluß an die Sammlungen: Organischer Teil, 1 *g.* — **Scheibler**: Über heterozyklische Verbindungen, 1. — **Seegert**: Ausgewählte Kapitel aus der Spektralanalyse, 1. — **Simonis**: Organische Analyse und Arbeitsmethoden, 2. — **Stavenhagen**: Einführung in die Experimentalchemie, 2. — **Treadwell**: Ausgewählte technisch-chemische Prüfungsmethoden, 1. — **Ullmann**: Ausgewählte Kapitel der Farbenindustrie, 1. — **Voswinckel**: Terpene und Kampfer, 1. — **Wirth**: Analytische Chemie, 1. — **Wolffenstein**: Die neueren Arzneimittel und ihre Fabrikation, 2. —

Dziobek: Höhere Mathematik: Differential- und Integralrechnung, Analytische Geometrie, 6, Übungen, 2. — **Haentzschel**: Elemente der Mechanik, 4. — **Jolles**: Darstellende Geometrie II, 4, Übungen, 4. — **Korn**: Ausgewählte Kapitel der Potentialtheorie, 2. — **Lampe**: Höhere Mathematik: Differential- und Integralrechnung, Analytische Geometrie, 6, Übungen, 2; Bestimmte Integrale und Differentialgleichungen, 2. — **Rothe**: Höhere Mathematik: Differential- und Integralrechnung, Analytische Geometrie, 6, Übungen, 2; Differentialgleichungen, 2. — **Scheffers**: Darstellende Geometrie II, 5, Übungen, 5. — **Wallenberg**: Ausgewählte Kapitel der Elementarmathematik, 2; Funktionentheorie II, 2; Variationsrechnung, 2. — **Felgentraeger**: Maß- und Gewichtswesen II, 2; Die Meßinstrumente des Chemikers, 2. — **Fuchs**: Lineare Differentialgleichungen, 2. — **Jacobsthal**: Höhere Zahlentheorie, 4. — **Lichtenstein**: Darstellende Geometrie I, 5, Übungen, 5. — **Haußmann**: Niedere Geodäsie, 4; Geodätisches Praktikum II, 2; Praktische Übungen im Feldmessen, 4; Planzeichnen zugleich Bearbeitung der Aufnahmen, nach Verabredung; Höhere Geodäsie, 2. — **Reißner**: Mechanik und graphische Statik I, 4, Übungen, 2; Ausgewählte Kapitel der Mechanik, 2 *g.* — **Wolff**: Niedere Geodäsie im Abriß, Aufnahme und Bearbeitung eines Höhen- und Lageplanes, 1, Übungen, 1 Nachmittag. — **Hartmann**: Kinematische Geometrie und theoretische Kinematik, 2; Maschinengetriebe: Anwendungen der Kinematik, 2. — **E. Meyer**: Mechanik I, 4, Übungen und Festigkeits-Laboratorium, 3; Ausgewählte Kapitel der Technischen Mechanik, 2. —

Universität Bern.

Forster: Experimentalphysik I: Allgemeine Physik, Akustik, Optik, 6; Wärmelehre (Schluß), 1 *g*; Repetitorium der Physik, 2; Theoretisch-praktischer Kurs der Photographie, 2; Physikalisches Praktikum, 4. — **Gruner**: Thermodynamik, 3. Übungen, 1; Elektronentheorie, 2; Seminar für theoretische Physik, nach Verabredung. — **Blattner**: Theorie der Wechselströme, 1. — **Luterbacher**: Die Elemente der Meteorologie und ihre Beobachtung, 2. —

Kohlschütter: Anorganisch-chemisches Praktikum, tägl.; Chemisches Praktikum für Mediziner, 8; Physikalische Chemie, 2. — **Ephraim**: Analytische Chemie, 3; Gasanalytisches Praktikum, 3; Repetitorium der anorganischen Chemie, 2. — **Mai**: Repetitorium der anorganischen Chemie, für Mediziner und Lehramtskandidaten, 2. — **Tambor**: Organische Chemie I, 6, Repetitorium, 1; Organisch-chemisches Praktikum, tägl. — **Frl. Woker**: Arbeiten im Laboratorium für physikalisch-chemische Biologie, tägl.; Kurs für die Untersuchung von Körperflüssigkeiten: Harn, Blut, Milch, Magensaft, 4; Theorie und Praxis der Fermentuntersuchung, 1, Übungen im Nachweis und der Bestimmung von Fermenten, 1; Die physikalische Chemie der Zelle, 1 *g*; Die Chemie als Hilfswissenschaft der Biologie, 2; Die Katalysatoren der Technik, 1. — **Abelin**: Chemie der Eiweißkörper und ihrer Spaltungsprodukte, 1. — **Schaffer**: Chemie der Nahrungs- und Genußmittel II, 2; Chemische Technologie der Lebensmittelgewerbe, nach Verabredung. —

Graf: Kugelfunktionen II, mit Repetitorium, 3; Besseische Funktionen II, mit Repetitorium, 3; Integralrechnung, mit Repetitorium, 3; Differentialgleichungen I, 2; Funktionentheorie II, 2; Renten- und Versicherungsrechnung, 2; Mathematisches Seminar (mit Huber), $1^1/_2$. — **Huber**: Bahnbestimmung der Planeten und Kometen, 2; Theorie der algebraischen Flächen, 3; Theorie und Anwendung der elliptischen Integrale, 2; Einleitung in die Differentialgeometrie, 1; Mathematisches Seminar: Geometrische Richtung (mit Graf), 1. — **Ott**: Algebraische Analysis I, 2; Differentialrechnung, 2; Analytische Geometrie der Ebene I, 2; Goniometrie und ebene Trigonometrie, 2; Mathematische Übungen, 2. — **Benteli**: Elemente der darstellenden Geometrie, 4; Praktische Geometrie, mit Übungen auf dem Terrain, 3. — **Crelier**: Ausgewählte Kapitel aus der synthetischen Geometrie, 2; Nichteuklidische Geometrie, 2; Unterrichtsfragen aus der Geometrie, 1. — **Mauderli**: Die astronomischen Instrumente II, 1, Übungen, mit Projektionen und Exkursionen, nach Verabredung; Geographische Ortsbestimmung auf Forschungsreisen, 1, Übungen, nach Verabredung; Wissenschaftliches Rechnen I, 1; Geschichte der Astronomie seit der Erfindung des Fernrohrs, 1 *g*. — **Berliner**: Höhere Algebra (Fortsetzung), 1. — **Moser**: Intensitätsfunktion und Überlebensordnung, 1—2; Mathematische Grundlagen der Invaliden- und Altersversicherung, 2; Ausgewählte Kapitel der Versicherungslehre, nach Verabredung; Mathematisch-versicherungswissenschaftliches Seminar, 1—2. — **Bohren**: Wahrscheinlichkeitsrechnung, 2. —

Universität Bonn.

Kayser: Experimentalphysik I: Mechanik, Wärme, Akustik, 5; Laboratorium für Anfänger, 8, für Fortgeschrittene, tägl. — **Eversheim**: Übungen für Lehramtskandidaten im Experimentalvortrag und in der Anfertigung einfacher Apparate, 2; Grundzüge der Elektrotechnik, 1 *g*. — **Pflüger**: Wärmetheorie, 4, Übungen, 1 *g*. — **Bucherer**: Einführung in die Vektoranalysis, 1 *g*. —

Anschütz: Experimentalchemie I: Anorganische Chemie, 6; Kolloquium über neuere Arbeiten auf dem Gebiete der Chemie, 1 *g*; Chemisches Praktikum für Anfänger und Vorgeschrittene, sowie für Nahrungsmittelchemiker (mit Benrath, Frerichs und Kippenberger), tägl., für Mediziner (mit Benrath), tägl. außer Sonnabend. — **Benrath**: Spezielle anorganische Chemie II, 1 *g*; Justus Liebig und seine Zeit, 1 *g*; Analytische Chemie II, 2; Übungen in der Gasanalyse, 3 *g*. — **Rimbach**: Physikalische Chemie II: Thermochemie und Elektrochemie, 3; Chemisches Rechenseminar: Unterstufe: Stöchiometrische und chemisch-analytische Aufgaben (mit Wintgen), 14tägig, 2 *g*, Oberstufe: Physikalisch-chemische Aufgaben (mit Wintgen), 14tägig, 2 *g*; Übungen in den wichtigsten physikalisch-chemischen Meßmethoden, 3. — **Wintgen**: Physikalische Chemie und Kolloidchemie für Mediziner und Biologen, 2. — **Frerichs**: Toxikologische Analyse, 1; Pharmazeutische Chemie II (organisch), 3, III; Zyklische Verbindungen, 1 *g*. — **Gewecke**: Einführung in das chemische Praktikum, 1. — **Mannheim**: Einführung in das chemische Praktikum, für Pharmazeuten, 1; Sterilisieren von Arzneimitteln, 1. — **Kippenberger**: Grundzüge der Nahrungsmittelchemie, 2; Chemische Technologie, organischer Teil, ausschließlich der Farbstoffchemie, mit Exkursionen, 2; Einführung in die chemische Großtechnik II: Organisch-chemische Betriebe, mit Exkursionen, 1 *g*; Besprechung technisch-chemischer Betriebskontrollen, 1 *g*. — **Laar**: Übungen in ausgewählten photographischen Verfahren, tägl.; Graphische Verfahren mit Besichtigungen, 1. —

Study: Einführung in die Differential- und Integralrechnung, 4, Übungen, 1 *g*; Mathematisches Seminar: Oberstufe: Vortragsübungen. — **London**: Darstellende Geometrie, 4, Übungen, 1 *g*; Analytische Geometrie II; Projektive Geometrie, 3. — **N. N.**: Zahlentheorie, 4; Theorie der elliptischen Funktionen, 4; Mathematisches Seminar: Mittelstufe: Behandlung einfacher Aufgaben für mittlere Semester, 14tägig, 2 *g*. — **C. Müller**: Einführung in die Geodäsie, mit Übungen im Freien, 2 *g*. — **Küstner**: Theorie und Praxis der astronomischen Instrumente, 3; Praktische Übungen im astronomischen Beobachten, nach Verabredung; Astronomisches Kolloquium, 1 *g*. —

Technische Hochschule Braunschweig.

Dießelhorst: Experimentalphysik: Ausgewählte Kapitel aus der Mechanik, Wärmelehre und Optik, 4; Wechselströme, 3; Physikalisches Praktikum I: Einfache experimentelle Aufgaben aus allen Gebieten der Physik, II: Anleitung zu selbständigen Arbeiten im Laboratorium; Physikalisches Kolloquium, 14tägig, 2 *g*. — **Bergwitz**: Radioaktivität der Erde und der Atmosphäre, 1; Theoretische Telegraphie, 1. — **Witte**: Naturwissenschaft und Erkenntnistheorie, 1. — **Peukert**: Elektrotechnische Messungen, 2; Allgemeine Elektrotechnik, 4; Grundzüge der Elektrochemie, 2; Elektrotechnisches Praktikum, 9; Arbeiten im elektrotechnischen Laboratorium, für Fortgeschrittene, 9. — **N. N.**: Elektromaschinenbau, 4, Übungen, 6; Elektrische Bahnen, 2; Elektrische Kraftbetriebe, Übungen, 2; Grundzüge der Elektrotechnik, 2. — **Mosler**: Drahtlose Telegraphie, 2; Radiotelegraphisches Praktikum, 3. — **Micheler**: Einführung in die Photographie, 1; Spezielle Photographie, 2; Photographische Übungen, für Anfänger und Fortgeschrittene, 3. —

Meyer: Organische Experimentalchemie, 6; Chemische Technologie der Faserstoffe, 1; Arbeiten im chemischen Laboratorium; Chemisches Kolloquium (mit Freundlich), nach Verabredung, *g*. — **Biehringer**: Analytische Chemie, 2; Chemisch-technische Rechnungen, 1; Heizstoffe und Kesselspeisewasser, 2, Übungen, 1. — **Freundlich**: Elektrochemie, 2; Chemische Technologie I, 4; Arbeiten im Laboratorium für physikalische Chemie und Elektrochemie. — **Reinke**: Chemische Technologie II 2: Technische Herstellung der Zuckerarten, 4; Chemisch-technische Analyse II für Zucker-, Stärke-, Gärungs- und Molkereitechnik, 2; Enzyme, 2; Arbeiten im Laboratorium für chemische Technologie II und landwirtschaftlich-chemische Gewerbe; Seminaristische Übungen, monatlich 2 *g*. — **Schultze**: Agrikulturchemie, 2. — **Beckurts**: Abwässereinigung, 1; Wasser- und Harnuntersuchung, 1; Pharmazeutische Chemie, 4; Arbeiten im Laboratorium für phar-

mazeutische Chemie und Nahrungsmittelchemie. — **Troeger**: Analytische Chemie, 2; Repetitorium der anorganischen und organischen Chemie. 2. — **Emde**: Alkaloide, 2. —

Fricke: Analytische Geometrie und Algebra, 3; Differential- und Integralrechnung I, 4, Übungen, 2; Ausgewählte Kapitel aus der Funktionentheorie, 2; Grundlagen der Theorie der Fourierschen Reihen, 1. — **Timerding**: Darstellende Geometrie, 3, Übungen, 4; Perspektive, 1, Übungen, 2; Einführung in die höhere Mathematik, 3, Übungen, 1. — **N. N.**: Statik starrer und elastisch-fester Körper, 4, Übungen, 2. — **Schlink**: Technische Mechanik I: Statik, 6, Übungen und Repetitionen, 3, III: Hydraulik, Aerostatik und Aerodynamik, 4, Übungen und Repetitionen, 2; Ausgewählte Kapitel aus der Luftfahrt, 1; Ausgewählte Kapitel aus der Theorie der Konstruktionen, 2. — **Näbauer**: Geodäsie I, 5, Übungen, 2; Grundzüge der sphärischen Astronomie, 2, Übungen, 2; Vermessungsübungen I, 5, II, 9; Ausarbeitung geodätischer Aufnahmen, 3. —

Universität Breslau.

Lummer: Experimentalphysik I: Mechanik, Wärme, Akustik, 5; Physikalisches Praktikum für Anfänger (mit Schaefer und Waetzmann), 3, (mit Schaefer, Waetzmann und Ladenburg), 3, für Mediziner (mit Ladenburg), 3, für Pharmazeuten (mit Ladenburg), 3, für Geübtere (mit Pringsheim, Schaefer, Waetzmann und Ladenburg), tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Pringsheim und Schaefer), 2 *g*. — **Pringsheim**: Theoretische Optik, 4; Übungen des mathematisch-physikalischen Seminars, 14tägig, 2 *g*. — **Schaefer**: Theoretische Mechanik materieller Punkte und starrer Körper, 4. — **Riesenfeld**: Photographisches Praktikum, 2; Die Photographie und ihre Technik, 1 *g*. —

Biltz: Unorganische Experimentalchemie, 6; Chemische Referatenstunde für Vorgeschrittenere (mit Meyer und Koenigs), 14tägig, 1½ *g*; Chemisches Praktikum, unorganische Abteilung, tägl. außer Sonnabend, organische Abteilung, ganztägig, für Mediziner (mit Meyer), 4, für Landwirte, 4. — **Herz**: Die physikalisch-chemischen Grundlagen der analytischen Chemie, 2; Grundlagen der Maßanalyse, 1; Anwendungen der Maßanalyse, mit besonderer Berücksichtigung des Deutschen Arzneibuches, 1; Besprechungen zur qualitativen Analyse, 1 *g*. — **Gadamer**: Anorganische Experimentalchemie, mit besonderer Berücksichtigung der Pharmazie, 6; Prüfung der Arzneimittel, 1 *g*; Praktisch-chemische Übungen, mit besonderer Berücksichtigung der Pharmazie, der forensischen Chemie und Nahrungsmittelchemie, tägl.; Kleines chemisches Praktikum, 6. — **Danckwortt**: Ausgewählte Kapitel aus der Chemie der menschlichen Nahrungs- und Genußmittel, 2. — **Ehrlich**: Landwirtschaftlich-chemische Technologie II: Die Gärungsindustrien: Brennerei, Brauerei usw., 2; Einführung in die Chemie für Landwirte, organischer Teil, 2; Die Enzyme und ihre Bedeutung für das Pflanzen- und Tierleben, 1 *g*; Die Milch, ihre technische Verarbeitung und Verwertung, 1; Gasanalytische und chemisch-technische Untersuchungen, 4; Chemische, biochemische und technische Arbeiten im landwirtschaftlich-technologischen Institut, für Anfänger und Fortgeschrittene, tägl. außer Sonnabend. —

Sturm: Geometrische Verwandtschaften II, 3; Analytische Geometrie des Raumes, 3. — **Kneser**: Differentialrechnung, 4; Differentialgleichungen und Transformationsgruppen, 3; Übungen des mathematisch-physikalischen Seminars, 2 *g*. — **Schmidt**: Zahlentheorie, 4; Theorie der reellen Funktionen, 2; Übungen des mathematisch-physikalischen Seminars: Lektüre Gaußscher Abhandlungen, 2 *g*. — **Schnee**: Algebra, 4. — **Steinitz**: Funktionentheorie, 4, Übungen, 1 *g*. —

Technische Hochschule Breslau.

Lummer: Experimentalphysik: Mechanik, Akustik, Wärme, 5; Physikalisches Praktikum, 3. — **von dem Borne**: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Luftschiffahrt: Theorie der Flugzeuge, 2; Aeronautische und meteorologische Übungen, 2; Grundzüge der Meteorologie, 1; Physik der Erdfeste, 2. — **Hilpert**: Elektrotechnik II, 4; Elektromaschinenbau I und II, 2; Apparatebau, 2; Übungen im Elektromaschinen- und Apparatebau, 4; Elektrotechnisches Laboratorium I, 4, III, 8. — **Euler**: Elektrotechnische Meßkunde I und II, 2; Elektrische Kraftanlagen II, 2; Elektrische Bahnen, 2; Übungen im Bau elektrischer Kraftanlagen und Bahnen, 4. — **Große-Leege**: Telegraphentechnik, 2. —

Ruff: Anorganisch-chemisches Praktikum, tägl.; Analytische Chemie, 3; Chemisches Kolloquium (mit Eucken, Neumann und Semmler), 14tägig, 2 *g*. — **Neumann**: Anorganisch-chemische Technologie, 4; Chemisch- und elektrochemisch-technisches Praktikum, tägl. — **Semmler**: Organisch-chemisches Praktikum, tägl.; Organische Experimentalchemie, 4; Abriß der organischen Chemie, 1. — **Eucken**: Physikalische Chemie I und II, 2; Physikalisch-chemisches Praktikum für Fortgeschrittene, tägl.; Übungen in physikalischer Chemie und Elektrochemie, 4. — **Ehrlich**: Zuckertechnische und gärungsphysiologische Übungen, 4. — **Engelhardt**: Der elektrische Ofen in der Eisen- und Stahlindustrie, 14tägig, 2. — **Nauß**: Einführung in die Gastechnik, 1. —

Steinitz: Höhere Mathematik II, 2, Übungen, 2; Vektoranalysis, 2. — **Dehn**: Höhere Mathematik, 4, Übungen, 2; Ausgewählte Kapitel der Analysis, nach Verabredung. — **Hessenberg**: Darstellende Geometrie, 2, Übungen, 4; Analytische Geometrie, 3. — **Mann**: Mechanik: Graphische Statik II, 4, Übungen, 2, IV, 2, Übungen, 2; Eisenhochbau, einschließlich Eisenbetonbau II, 2, Übungen, 2; Statik der Baukonstruktionen II, 1. — **Schnee**: Ausgewählte Kapitel der Analysis, nach Verabredung. —

Technische Hochschule Darmstadt.

Schering: Experimentalphysik: Magnetismus, Elektrostatik, Elektrische Ströme, 5; Physikalisches Praktikum (mit Zeißig), 4 Nachmittage; Selbständige Arbeiten aus dem Gebiete der Physik (mit Zeißig), nach Verabredung; Theoretische Elektrizitätslehre, 2. — **Zeißig**: Experimentalphysik: Magnetismus, Elektrostatik, Elektrische Ströme, 4; Ausgewählte Kapitel aus der allgemeinen Physik, für Pharmazeuten, 1. — **Wirtz**: Allgemeine Elektrotechnik I: Elemente der Elektrotechnik, 3; Elektrotechnische Meßkunde I, 2; Übungen im elektrotechnischen Laboratorium (mit Sengel), 4 halbe Tage; Selbständige Arbeiten für Vorgeschrittenere (mit Sengel und Petersen), nach Verabredung; Grundzüge der Telegraphie und Telephonie, 2; Radiotelegraphisches Praktikum, ½ Tag. — **N. N.**: Allgemeine Elektrotechnik II: Gleich- und Wechselstromtechnik, 4. — **Petersen**: Allgemeine Elektrotechnik, Übungen, 2; Grundzüge der Hochspannungstechnik, 1. — **Sengel**: Konstruktion elektrischer Maschinen und Apparate, 3, Übungen, 3; Elektrische Licht- und Kraftanlagen, 2, Übungen, 2; Grundzüge der Elektrotechnik, 2. — **Goldschmidt**: Elektrischer Antrieb von Hebemaschinen und industrielle elektrische Betriebe, 2; Referate aus elektrotechnischen Fachblättern, Kolloquium, 1. — **Eberhardt**: Luftschiffahrt, 2, Übungen, 6; Flugtechnik, 2, Übungen, 6; Allgemeine Vorlesung über das gesamte Gebiet der Luftschiffahrt, 2. — **Schleiermacher**: Aerodynamik in Beziehung zur Luftfahrt, 2 *g*; Rechenapparate und wissenschaftliches Rechnen, 2 *g*. — **Gasser**: Geodätische Aufgaben im Luftfahrtwesen, 2, mit stereophotogrammetrischen Feldübungen. —

Wöhler: Spezielle anorganische Chemie, 4; Theoretische Chemie II, 2; Kolloquium über chemische Tagesfragen (mit Martin), 1; Chemisches Praktikum für anorganische und physikalische Chemie (mit Heyl, Martin und Schaeffer), tägl. außer Sonnabend. — **Schaeffer**: Agrikulturchemie, 1. — **Finger**: Ausgewählte Kapitel aus der organischen Chemie, 2; Teerfarbstoffe, 4; Praktikum im Laboratorium für organische Chemie (mit Friedlaen-

der), tägl. außer Sonnabend; Färberei-Praktikum (mit Heuser), 4. — **Martin**: Analytische Chemie I, 2. — **Heuser**: Organisch-chemisches Praktikum, nach Verabredung; Chemische Technologie der Gespinstfasern, Gewinnung der Fasern: Bleicherei, Färberei, Zeugdruck, 1; Kunstseide, andere künstliche Fäden und Zelluloseprodukte, 1. — **Friedlaender**: Chemie der natürlichen Farbstoffe, 1 *g*. — **Heyl**: Pharmazeutische Chemie, anorganischer Teil, 2, organischer Teil, Repetitorium, 1; Ausmittelung der Gifte, 1. — **Dieffenbach**: Elektrochemie, 2; Chemische Technologie, 2; Metallurgie, 2; Chemisches, chemisch-technisches und elektrotechnisches Praktikum (mit Sander), tägl. außer Sonnabend. — **Vaubel**: Theoretische Chemie II: Thermochemie, 1, Übungen, 3; Die Steinkohlengasindustrie, 1 *g*; Die maschinellen Hilfsmittel der chemischen Technik, $1^1/_2$. — **Sonne**: Chemische Technologie der Explosivstoffe, 2. — **Weller**: Untersuchen von Nahrungsmitteln, Genußmitteln und Gebrauchsgegenständen, 8, Übungen, 1. —

Graefe: Repetitorium der Elementar-Mathematik, 3, Übungen, 2; Höhere Mathematik, 3, Übungen, 2; Ausgewählte Kapitel aus der höheren Mathematik, 2. — **Horn**: Höhere Mathematik I, einschließlich Elemente der höheren Algebra, 5, Übungen, 3; Ausgewählte Kapitel aus der Theorie der Differentialgleichungen, 2—3; Äußere Ballistik, 3. — **Dingeldey**: Höhere Mathematik I, einschließlich Elemente der höheren Algebra, 6, Übungen, 3, II, 2, Übungen, 1. — **Wiener**: Darstellende Geometrie I, 4, Übungen, 6; Neuere mathematische Lehren zur Behandlung naturwissenschaftlicher und technischer Aufgaben: Ortsfunktionen und Vektorfelder, 2; Arbeiten im mathematischen Institut (mit Sulzmann), 3. — **Müller**: Darstellende Geometrie, 4, Übungen, 6; Reine Kinematik, 2. — **Hohenner**: Geodäsie, 4; Ausgewählte Kapitel aus der Geodäsie, 2; Geodätische Übungen I, 2 Nachmittage, II, 1 Nachmittag; Geodätische Ausarbeitungen, 4; Praktische Geometrie, Übungen, 1 Nachmittag, Ausarbeitungen, 2. — **Assistenten**: Planzeichnen, 4. — **Henneberg**: Technische Mechanik, 3, Übungen (mit Graefe), 2; Mechanik I, 6; Übungen in Mechanik, 2; Hydrodynamik, 1. — **Braun**: Hydraulik, 2, Übungen, 1. — **Blaeß**: Ausgewählte Abschnitte aus der technischen Mechanik, 2 *g*. —

Universität Erlangen.

Wiedemann: Experimentalphysik II: Wärme, Akustik, Optik, 5; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 2; Physikalisches Halb- und Vollpraktikum, tägl. außer Sonnabend. — **Reiger**: (ev. **Würschmidt**:) Theoretische Physik, 4; Elektrotechnisches Praktikum, 3. — **Würschmidt**: Physikalische Geographie, 2; Geschichte der Physik II, 2. — **Hauser**: Photographie, mit Übungen, 2. — **O. Fischer**: Organische Experimentalchemie, 5; Praktische Übungen im Chemischen Laboratorium (mit Henrich): a) Analytisch-chemische Übungen, b) Vollpraktikum, tägl. außer Sonnabend; Praktikum für Mediziner, 4. — **Busch**: Pharmazeutische Chemie, anorganischer Teil, 3; Chemische Technologie: Organische Großindustrie, mit Exkursionen, 2; Ausmittelung von Giften, 1; Chemisches Voll- und Halbpraktikum, tägl. außer Sonnabend; Pharmazeutisch-chemisches Praktikum, tägl. außer Sonnabend; Nahrungsmittelchemisches Praktikum, tägl.; Grundlagen der Chemie und ihre Anwendung, 2 *g*. — **Henrich**: Analytische Chemie der Metalloide, mit besonderer Berücksichtigung der Maßanalyse (Experimentalvorlesung zur Ergänzung des analytisch-chemischen Praktikums), 3; Ausgewählte Kapitel aus der Chemie, 2. — **Jordis**: Physikalische Chemie, 2; Elektrochemisches Praktikum, 4; Anorganische Chemie, 2; ev.: Anorganische Chemie für Anfänger, 4; Repetitorium der anorganischen Chemie, 2 oder 4. —

Noether: Differentialgleichungen, 3; Einführung in die analytische Geometrie und in die Differentialrechnung, 4, Übungen, nach Verabredung. — **E. Fischer**: Algebra, 6, Übungen, 2 *g*; Höhere Zahlentheorie, nach Verabredung, *g*. —

Universität Frankfurt a. M.

Wachsmuth: Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 5; Die Polarisation des Lichtes, 1; Physikalisches Kolloquium, 14tägig, 2; Physikalische Übungen, für Anfänger, 6, für Fortgeschrittene, tägl.; Wissenschaftliche physikalische Arbeiten, tägl. — **Déguisne**: Der elektrische Wechselstrom (Experimental-Vorlesung), 2; Elektrische Wechselstrommessungen, 1; Magnetismus und magnetische Kreise, 1; Kolloquium über die neuere Literatur der angewandten Physik, 14tägig, 2; Kleines elektrotechnisches Praktikum I, 3, II, 3; Großes elektrotechnisches Praktikum, tägl.; Wissenschaftliche Arbeiten, tägl.; Gasmotorenpraktikum, nach Verabredung. — **v. Laue**: Theoretische Optik, 4, Übungen, 1; Interferenzerscheinungen an Röntgenstrahlen und Kristallstruktur, 1; Potentialtheorie, 2. — **Linke**: Luftelektrizität und Erdmagnetismus, 3; Meteorologisch-geophysikalische Übungen, 2; Die Bedeutung des Wetters im öffentlichen Leben, 1. — **Humann**: Theoretische Kapitel aus dem Gebiete der elektrischen Freileitungen und Kabel, 1; Die Berechnung elektrischer Leitungsnetze, 1. — **Seddig**: Ergänzungen zur Experimentalphysik, 1; Photographisches Praktikum, 8 oder 4. — **Stern**: Einführung in die Quantentheorie, 2. —

Freund: Anorganische Experimentalchemie, 5; Kolloquium über neue chemische Literatur, 14tägig, $1^1/_2$; Großes chemisches Praktikum und Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten: Organische Abteilung, ganztägig, anorganische Abteilung, ganz- oder halbtägig (mit Ebler); Kleines chemisches Praktikum für Anfänger: Darstellung chemischer Präparate, Einführung in die qualitative und quantitative Analyse, Nahrungsmittelanalyse (mit Ebler), 2 halbe Tage; Chemisches Praktikum für Mediziner (mit Ebler), 6; Chemisches Praktikum für Angehörige der Wirtschafts- und sozialwissenschaftlichen Fakultät (mit Speyer), 2 halbe Tage. — **Lorenz**: Elektrochemie, mit Einleitung in die physikalische Chemie, 3; Metallographie, 1; Kolloquium über neuere Arbeiten aus dem Gebiet der physikalischen Chemie, 14tägig, 2; Kleines Praktikum der physikalischen Chemie, 4 Wochen; Übungen im physikalisch-chemischen Laboratorium, halb- oder ganztägig; Wissenschaftliche Arbeiten im physikalisch-chemischen Laboratorium, ganztägig. — **Ebler**: Analytische Chemie I: Einführung in die analytische Chemie und qualitative Analyse, 2; Radioaktivität und radioaktive Substanzen, 1; Gasanalyse und Gasvolumetrie, 1; Kolloqnium über anorganische und analytische Chemie, 1. — **Mayer**: Einführung in die organische Chemie auf elementarer Grundlage, 1; Chemie und Technologie der Teerfarbstoffe, 2; Praktische Übungen in der Färberei der Textilfasern, 2. — **Speyer**: Ausgewählte Kapitel aus der Chemie der ätherischen Öle, 1. — **Tillmans**: Die Chemie der menschlichen Nahrungs- und Genußmittel II, 1; Praktische Übungen in der Untersuchung von Nahrungsmitteln, Wasser und Abwasser, nach Verabredung: Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten auf dem Gebiete der Nahrungsmittel-, Wasser- und Abwasserchemie, halbtägig. —

Schoenflies: Einleitung in die analytische Geometrie der Ebene und des Raumes, 4, Übungen, 1; Geometrische Grundlagen der Kristallstruktur, 1. — **Bieberbach**: Funktionentheorie, 4; Über die Weiterentwickelung der Differential- und Integralrechnung in neuerer Zeit, 2; Mathematisches Seminar: Vorträge über unendliche Reihen (mit Szász), 1. — **Brill**: Theorie der Rotation der Himmelskörper, 2. — **Szász**: Differential- und Integralrechnung I, 5, Übungen, 1. —

Universität Freiburg i. Br.

Himstedt: Experimentalphysik: Magnetismus, Elektrizität, Optik, Elektrooptik, 5; Übungen aus der theoretischen Physik, 1; Physikalisches Kolloquium, 2 *g*; Physikalisches Praktikum für Mediziner und Pharmazeuten, 3, für Naturwissenschaftler, 6; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. — **Koenigsberger**: Repetitorium der mathematischen Physik, 2; Mathematische Physik: Elek-

trizität, 2; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. — **Gaede**: Technisch-physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler: Übungen in der Anfertigung physikalischer Apparate und in der Vorführung von Demonstrationen, 2; Anleitung zu selbständigen Arbeiten im technisch-physikalischen Institut, tägl. —

Gattermann: Organische Experimentalchemie, 5; Chemisches Praktikum (mit Riesenfeld, Fromm, Meigen, Skita, Heß und Schwarz), tägl. außer Sonnabend; Übungen im Experimentieren und Vortragen für künftige Lehrer der Chemie I: Anorganischer Teil (mit Riesenfeld, Heß und Schwarz), 2 *g*; Chemisches Kolloquium, 1 *g*. — **Riesenfeld**: Anorganische Experimentalchemie, 5. — **Fromm**: Organische Technologie mit Exkursionen, 2; Repetitorium der organischen Chemie für Mediziner, 2, Repetition, 1. — **Meigen**: Qualitative Analyse, 3; Gasanalytisches Praktikum, 2. — **Meyer**: Physikalische Chemie, 2; Theorie der elektromotorischen Kräfte, 1; Photographie mit Demonstrationen und praktischen Übungen, 2; Physikalisch-chemisches Übungspraktikum, 2; Selbständige physikalisch-chemische Untersuchungen, nach Verabredung. — **Skita**: Chemie der Teerfarbstoffe, 2; Übungen im Färben von Gespinstfasern, 2. — **Madelung**: Neuere Arbeiten auf den Gebieten der organischen Chemie, 1. — **Heß**: Die natürlichen Farbstoffe und Pigmente, 1. — **Schwarz**: Theorie der quantitativen Analyse, 1. —

Stickelberger: Algebraische Analysis, 3; Analytische Mechanik, 4, Seminarübungen, 1. — **Heffter**: Integralrechnung, 4, Übungen, 1 *g*; Mathematisches Seminar: Funktionentheorie, 2 *g*. — **Loewy**: Analytische Geometrie der Ebene, 4, Übungen, 1 *g*; Einführung in die Theorie der sozialen Versicherung, 2. — **Bolza**: Variationsrechnung, 3, Übungen, 1 *g*. — **Beith**: Praktische Geometrie, 2, Übungen im Felde, 2 *g*. — **Ansel**: Theoretische Astronomie, 2; Graphische Methoden der angewandten Mathematik, 2; Übungen, 2; Einführung in die höhere Geodäsie, 2. —

Universität Gießen.

König: Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 5; Grundlagen der Molekularphysik, 1; Physikalisches Praktikum für Mathematiker und Naturwissenschaftler, 6, für Vorgeschrittene, nach Verabredung, für Chemiker, Mediziner, Pharmazeuten und Landwirte, 3; Leitung selbständiger physikalischer Arbeiten, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Fromme), 2. — **Fromme**: Theoretische Elektrizitätslehre, 4; Theoretisch-physikalische Übungen, 1; Niedere Geodäsie, 3. Praktische Übungen, 1 Nachmittag; Übungen im Feldmessen und Nivellieren für Landwirte, 1 Nachmittag; Meteorologie, 1. — **Aßmann**: Ausgewählte Kapitel aus der Meteorologie und Aerologie, 1. — **Uller**: Elektrotechnisches Praktikum (mit Cermak), 2. — **Cermak**: Handfertigkeitspraktikum, 3. — **Peppler**: Meteorologische Optik, 1. — **Jentzsch**: Beugungstheorie der optischen Instrumente, 1; Ballistik, 1. —

Elbs: Anorganische Experimentalchemie, 5; Chemisches Praktikum, tägl., für Landwirte, tägl. außer Sonnabend; Chemische Übungen für Mediziner und Veterinärmediziner (mit Brand), 5. — **Feist**: Pharmazeutische Präparate, anorganischer Teil, 3; Die menschlichen Nahrungsmittel und ihre Verfälschungen, 1; Gesetzeskunde für Apotheker und Nahrungsmittelchemiker, 1. — **Schaum**: Physikalische Chemie, Einführung, 2; Physikalisch-chemisches Seminar, 1 *g*; Physikalisch-chemische Übungen, 3; Photographische Übungen, 3; Physikalisch-chemisches Praktikum, tägl. — **v. Liebig**: Grenzfragen der Chemie, 1 *g*. — **Thomae**: Kolloidchemie und Ultramikroskopie, 1. —

Schlesinger: Differentialrechnung, 4, Übungen, 1; Differentialgeometrie, 4; Mathematisches Seminar: Mechanik, 1. — **Engel**: Analytische Geometrie, 4, Übungen, 1; Mathematisches Seminar, $1^1/_2$. — **Graßmann**: Darstellende Geometrie II, 3, Übungen, 4; Anwendung der Streckenrechnung auf die Mechanik, 1, Seminar, 14tägig, 1. —

Universität Göttingen.

Rausch v. Traubenberg: Experimentalphysik, (in Vertretung von Pohl) 4; Einführende physikalische Übungen, 2; Ausgewählte Kapitel der Radioaktivität und Elektronik mit Demonstrationen 2. — **Voigt**: Elektrodynamik, 4; Magnetismus, 2 *g*; Ergänzungskurs über ausgewählte Kapitel der Physik, 2 *g*; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, nach Verabredung; Physikalisches Kolloquium (mit Debye), 2 *g*. — **Wiechert**: Erdbeben, 1 *g*; Geophysik: Meteorologie, Luftelektrizität, Ebbe und Flut, 3; Vermessungswesen, praktischer Teil: Übungen in Feldmessung, 4; Geophysikalisches Praktikum, nach Verabredung, *g*; Quantentheorie, 2. — **Prandtl**: Anleitung zu selbständigen Arbeiten auf dem Gebiete der Mechanik, einschließlich Aerodynamik und Thermodynamik, tägl. — **Simon**: Schwingungen und Resonanz in Physik und Technik, 4; Elektrotechnisches Praktikum, 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Untersuchungen auf dem Gebiete der angewandten Elektrizität, tägl.; Mathematisch-physikalisches Seminar: Vorträge über Fragen der angewandten Elektrizität, 2 *g*. — **Debye**: Praktische Übungen im Physikalischen Institut (mit Simon, von Traubenberg und Engl); Mechanik mit erläuternden Demonstrationen, 4; Röntgenstrahlen, 1; Mathematisch-physikalisches Seminar: Vorträge über Struktur der Materie (mit Hilbert), 2 *g*. Wissenschaftliche Arbeiten, täglich. —

Windaus: Allgemeine Chemie II: Organische Chemie, 5; Chemisches Kolloquium, 1 *g*; Seminar für Lehramtskandidaten, 1 *g*; Chemische Übungen (mit Borsche und Sielisch), Voll- und Halbpraktikum, tägl. außer Sonnabend. — **Tammann**: Elektrochemie, 2; Physikalisch-chemisches Praktikum für Anfänger, 4 Wochen; Physikalisch-chemische Arbeiten, ganz- und halbtägig; Kolloquium, 1 *g*. — **Zsigmondy**: Anorganische Kolloide I: Metalle, 1 *g*; Ausgewählte Kapitel aus der anorganischen Chemie, 1; Praktikum der anorganischen und der Kolloidchemie, ganz- und halbtägig. — **Coehn**: Photochemie, mit Demonstrationen, 2; Photographisches Praktikum, für Anfänger und Fortgeschrittene, 3; Photochemische Arbeiten, ganz- und halbtägig. — **Mannich**: Die Auffindung der Gifte, 1; Pharmazeutische Chemie, anorganischer Teil, 3; Kolloquium über pharmazeutische Chemie, 1 *g*; Praktische Übungen in pharmazeutischer, toxikologischer und Nahrungsmittelchemie, tägl. außer Sonnabend. — **Kötz**: Einführung in die Chemie, 3; Theorien in der analytischen und anorganischen Chemie, 1; Chemisches Kolloquium: Vorträge über physikalische Chemie, 1 *g*; Chemische Technologie anorganischer Stoffe, 2. — **Borsche**: Einführung in die analytische Chemie, 3; Arbeitsmethoden der organischen Chemie II: Synthetische Methoden, 2; Färberei-chemische Übungen, 3. — **Sielisch**: Einführung in die Chemie für Mediziner, 2. — **Vogel**: Einführung in die Lehre vom heterogenen Gleichgewicht, 1. —

Hilbert: Einleitung in die Prinzipien der Physik, 2; Partielle Differentialgleichungen, 2. — **Hartmann**: Spektralanalyse der Gestirne, 1; Anleitung zu Beobachtungen ohne astronomische Instrumente, 2; Leitung astronomischer und astrophysikalischer Arbeiten für Fortgeschrittene, tägl.; Astronomisches Seminar: Literaturbesprechung, 2 *g*. — **Runge**: Analytische Geometrie, mit Übungen, 6; Numerisches Rechnen, mit Übungen, 4; Photogrammetrie, 1 *g*. — **Landau**: Zahlentheorie, 4; Elementarmathematik vom höheren Standpunkte aus, 3, Übungen, 1 *g*. — **Carathéodory**: Differential- und Integralrechnung, 4, Übungen, 2 *g*; Konforme Abbildungen, 4. — **Klein**: Entwicklung der Mathematik im 19. Jahrhundert (Schluß), 2 *g*. — **Bernstein**: Wahrscheinlichkeitsrechnung, 2; Versicherungsrechnung mit schriftlichen Übungen, 2; Vorträge über ausgewählte Gegenstände der mathematischen Statistik, 2 *g*. — **Ambronn**: Einführung in die praktische Astronomie: Astrometrie, 2; Die Praxis der Ausgleichsrechnung: Methode der kleinsten Quadrate, 1; Übungen im astronomischen Beobachten für Anfänger und für Lehramtskandidaten,

8; Leitung selbständiger astronomischer Arbeiten für Fortgeschrittene, tägl. —

Technische Hochschule Graz.

v. Ettingshausen: Physik, 5; Physik: Elektrizitätslehre, 5; Elektrotechnik, $3^1/_2$; Elektrotechnische Übungen: Praktische Messungen, 8; Enzyklopädie der Elektrotechnik, 2. — **Streintz**: Physik: Mechanik, Optik und Wärmelehre, 4; Der Bleiakkumulator, $1^1/_2$. —

Emich: Organische Chemie I, 5; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten im chemischen Laboratorium, für Vorgeschrittene; Anleitung zur mikrochemischen Analyse, nach Verabredung, für Vorgeschrittene. — **Andreasch**: Qualitative chemische Analyse II, 2; Laboratoriumsunterricht und Übungen, 16; Chemische Technologie der organischen Stoffe b, 4; Laboratoriumsunterricht und Übungen in der organisch-technisch-chemischen Analyse, 20; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten aus dem Gebiete der organischen Chemie und der chemischen Technologie organischer Stoffe, für Vorgeschrittene. — **B. Reinitzer**: Quantitative chemische Analyse II, 1; Laboratoriumsunterricht und Übungen in der chemischen Maßanalyse, 20; Chemische Technologie der anorganischen Stoffe b, 4; Elektrochemie II: Angewandte Elektrochemie, 2; Laboratoriumsunterricht und Übungen in der Darstellung anorganisch-chemischer Präparate, 20; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten aus dem Gebiete der anorganischen Chemie und der chemischen Technologie anorganischer Stoffe, für Vorgeschrittene. — **v. Cordier**: Besondere organische Synthesen: Zucker, Eiweiß usw., 1. — **v. Hemmelmayr**: Agrikulturchemie, 2. — **Kremann**: Ausgewählte Kapitel aus der physikalischen Chemie II, 2. — **Fuhrmann**: Chemie der Nahrungs- und Genußmittel, 3, Übungen, 4; Wissenschaftliche Photographie, einschließlich Mikrophotographie und Röntgenphotographie, 1. —

Hocevar: Mathematik I: Algebra, Analysis und Analytische Geometrie, 6, Übungen (mit Weitzenböck), 2. — **Weitzenböck**: Elemente der höheren Mathematik, 4; Einführung in die Wahrscheinlichkeits- und Ausgleichungsrechnung, 1. — **v. Peithner**: Mathematik II: Geometrie, Integralrechnung und Differentialgleichungen, 4, Übungen (mit Weitzenböck), 2. — **Schüssler**: Darstellende Geometrie, 3, Repetitorium, 2, Übungen, 6, Seminarübungen: Unterseminar, 2, Oberseminar, 2; Projektive Geometrie II, 3, Übungen, 3; Durchdringung von Flächen zweiten Grades, 2, Konstruktionsübungen, 2. — **Wittenbauer**: Allgemeine Mechanik II, 4, Übungen, 3 und 2; Technische Mechanik II, 3. — **Klingatsch**: Niedere Geodäsie, 4; Geodätische Feldübungen, 8; Sphärische Astronomie, 2; Katastervermessung, 3, Übungen, 16; Situations- und Terraindarstellung, 4. —

Universität Greifswald.

Mie: Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 5; Physikalische Übungen, für Naturwissenschaftler, 6, Erläuterungen, 1 *g*; Physikalisches Praktikum für Mediziner und Pharmazeuten, 2; Leitung selbständiger physikalischer Untersuchungen, tägl. —

Dimroth: Anorganische Experimentalchemie, 6; Chemisches Praktikum: a) anorganische Abteilung, b) organische Abteilung (mit Posner), c) für Pharmazeuten und Nahrungsmittelchemiker (mit Scholtz), tägl. außer Sonnabend, d) für Mediziner, 4, Erläuterungen, $^1/_2$ *g*. — **Scholtz**: Pharmazeutische Chemie, organischer Teil, 3; Chemie der Nahrungs- und Genußmittel, 2; Sterilisationskursus für Pharmazeuten, 2; Pharmazeutisches Kolloquium, 1 *g*. — **Posner**: Chemie der Benzolderivate, 2; Besprechungen neuerer Arbeiten aus dem Gebiete der organischen Chemie, 1. —

Hausdorff: Mechanik, 4; Analytische Geometrie des Raumes, 3, Übungen, 1 *g*; Mathematisches Seminar, 2 *g*. —

Universität Halle.

Dorn: Experimentalphysik II: Elektrizität, Magnetismus, Licht, 4; Elektromagnetische Theorie des Lichtes, 2 *g*; Physikalisches Laboratorium: a) Übungspraktikum, 6, b) Halbpraktikum, 3, c) Selbständige Arbeiten von Geübten, tägl. — **Schmidt**: Mechanische Wärmetheorie, 4; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, ganztägig; Physikalisches Kolloquium, 14tägig, 2 *g*. — **Bernstein**: Maschinentheorien, 1. Demonstrationen, nach Verabredung. — **Wigand**: Über Elektronen und Ionen, 1; Physikalisches Handfertigkeits-Praktikum, 3. — **Thiem**: Kursus der Farbenphotographie, 2. —

Erdmann: Praktische Übungen im Laboratorium für angewandte Chemie, tägl. außer Sonnabend; Chemisches Praktikum für Mediziner, 4. — **Schulze**: Experimentalchemie, organischer Teil, 4; Praktische Übungen im Chemischen Laboratorium (mit Tubandt), tägl. außer Sonnabend; Chemisches Praktikum für Pharmazeuten, tägl. außer Sonnabend; Besprechung der Arzneimittelprüfungen, 1 *g*. — **Baumert**: Chemie der Nahrungs- und Genußmittel, 2; Praktische Übungen im Laboratorium für Nahrungsmittelchemie, tägl. außer Sonnabend; Die wichtigsten Lebensmittel und deren Verfälschungen, 1 *g*. — **Tubandt**: Elektrochemie, 1; Physikalisch-chemisches und elektrochemisches Praktikum, tägl. außer Sonnabend; Physikalisch-chemisches Übungspraktikum, 4. —

Wangerin: Analytische Geometrie der Ebene, 3; Theorie des Potentials und der Kugelfunktionen, 5; Übungen des Mathematischen Seminars, 14tägig, 2 *g*. — **Gutzmer**: Höhere Algebra, 4; Bestimmte Integrale, 2; Übungen des Mathematischen Seminars, 14tägig, 2 *g*. — **Eberhard**: Differentialrechnung, 4; Differenzierübungen, 1 *g*. — **Buchholz**: Geographische Ortsbestimmung, mit praktischen Übungen, 2. — **Pfeiffer**: Darstellende Geometrie, 4, Übungen, 4 *g*. —

Technische Hochschule Hannover.

Precht: Experimentalphysik, 4; Arbeiten im Laboratorium der Physik, 4; Luftschiffahrt, 2; Photographie, 2. — **Kohlrausch**: Grundzüge der Elektrotechnik, 2; Theoretische Elektrotechnik, 4; Elektrotechnisches Laboratorium (mit Beckmann, Brückmann und Hölter) I, S, II, 16, III für Maschineningenieure, 8. — **Heim**: Elektrische Anlagen II: Zentralanlagen (mit Helsing), 3, Übungen, 2; Entwerfen von elektrischen Maschinen und Transformatoren (mit Helsing), 3, Übungen, 2; Elektrische Bahnen, Elektrochemischer Teil, 2; Elektrische Kraftübertragung, 2. — **Beckmann**: Praktische Elektrotechnik für Anfänger I, 1; Elektrotechnische Meßkunde I, 1, 2, II, 1; Elektrizitätszähler, 1 *g*. — **Brückmann**: Gleichrichter zur Umformung von Wechselstrom in Gleichstrom, 1 *g*; Elektrotechnisches Seminar, 1; Einanker- und Kaskaden-Umformer, 1. —

Seubert: Grundzüge der Chemie, 6; Arbeiten im Laboratorium der anorganischen Chemie (mit Eschweiler, Seybold und Sauermilch), tägl. außer Sonnabend. — **Eschweiler**: Maßanalyse, 2. — **Behrend**: Grundzüge der organischen Chemie, 3; Arbeiten im Laboratorium der organischen Chemie (mit Ingebrigtsen und Nottbohm), tägl. außer Sonnabend. — **Ost**: Zuckerindustrie und Gärungsgewerbe, 3; Mineralöle und Fette, 2; Arbeiten im Laboratorium der technischen Chemie (mit Matthies), tägl. außer Sonnabend. — **Bodenstein**: Angewandte Elektrochemie, 3; Elektrochemische Übungen (mit Braune), 4; Arbeiten im elektrochemischen Institut (mit Braune), tägl.; Übungen in der Elektroanalyse (mit Braune), 7. — **Laves**: Grundzüge der physiologischen Chemie, 2. —

Kiepert: Höhere Mathematik II (mit Prange), 6, Übungen, 2, Repetition, 1; Ausgewählte Kapitel der Mathematik: Geometrie der Lage, 4. — **Müller**: Höhere Mathematik I A (mit Prange), 6, Übungen, 2, III A, 3, Übungen, 1; Anwendungen der Variationsrechnung auf mechanische Probleme, 2. — **Salkowski**: Grundzüge der höheren Mathematik, 3, Übung, 1; Praktische Mathematik, 2, Übungen, 2; Wahrscheinlichkeitsrechnung, 2. — **Rodenberg**: Darstellende Geometrie I (mit Richter und Morin), 3, Übungen, 6; Mathematisches Seminar (mit Müller und Salkowski), 2 *g*. — **Oertel**: Grundzüge

der praktischen Geometrie (mit Petzold), 2, Übungen, 3; Praktische Geometrie, Planzeichnen (mit Petzold), 4; Geodäsie I: Praktische Geometrie (mit Petzold), 2, Übungen, 6; Grundzüge der astronomischen Ortsbestimmung, 2. — **Wilke**: Mechanik I: Grundzüge der Mechanik, 4, Übungen, 1; Maschinen-Meßkunde, 2. — **N. N.**: Aeromechanik in ihrer Anwendung auf Motorluftschiffe und Flugzeuge, 1, Übung, 1. —

Universität Heidelberg.

Lenard: Experimentalphysik: Optik, Elektrizität und Magnetismus, 4; Physikalisches Praktikum (mit Becker), 6; Physikalisches Seminar, 1 *g*; Wissenschaftliche Arbeiten im physikalischen und radiologischen Laboratorium (mit Becker und Ramsauer), tägl. außer Sonnabend. — **Becker**: Theoretische Optik, 5; Besprechung theoretisch-optischer Fragen, 1 *g*. — **Ramsauer**: Radiologie, Theorie der Kathodenstrahlen mit Demonstrationen, 2. —

Curtius: Experimentalchemie I: Allgemeine Chemie und Metalloide, 5; Chemisches Praktikum für Anfänger und Geübtere in anorganischer, organischer, physikalischer, analytischer und pharmazeutischer Chemie (mit Jannasch, Trautz und Müller), tägl. außer Sonnabend, für Mediziner, halbtägig; Chemisches Anfänger-Praktikum für Mediziner, 4. — **Jannasch**: Titrieranalyse, 2; Ausmittelung der Gifte, 1; Gasanalytisches Praktikum (mit Müller), 4; Chemisches Praktikum zur Untersuchung der Nahrungs- und Genußmittel, 5. — **Knoevenagel**: Technologische Chemie. — **Trautz**: Physikalische Chemie II: Photochemie, chemische Reaktionsgeschwindigkeit und Katalyse, 3; Physikalisch-chemische Besprechung anorganisch- und organisch-chemischer Arbeiten, 2 *g*; Praktische Einführung in die physikalische und Elektrochemie, 4 bis 6 Wochen. — **Krafft**: Organische Chemie, 4; Praktisch-chemische Arbeiten und Übungen im Laboratorium, tägl. außer Sonnabend, für Anfänger, halbtägig. — **Stollé**: Pharmazeutische Chemie. — **Mohr**: Besprechung neuerer organisch-chemischer Arbeiten, 1. — **Muckermann**: Über neuere Arzneimittel; Repetitorium der Chemie für Pharmazeuten. — **Müller**: Spektralanalyse, 1; Gasanalyse und Gasvolumetrie, 1; Praktische Übungen, 2. — **Schmidt**: Photographische Kurse für Anfänger und Vorgeschrittene, 2. —

Stäckel: Differential- und Integralrechnung, 4, Übungen, 1; Krumme Flächen II, 3; Mathematisches Oberseminar (mit Perron), 2. — **Perron**: Analytische Geometrie der Ebene, 4; Partielle Differentialgleichungen, 3; Mathematisches Unterseminar, 1. — **Koenigsberger**: Funktionentheorie, 4; Die Auflösung algebraischer Gleichungen, 1. — **Koehler**: Determinantentheorie, 2. — **Wolf**: Spektralanalyse II, 2 *g*. —

Universität Innsbruck.

v. **Schweidler**: Experimentalphysik II, 5; Physikalisches Praktikum für Lehramtskandidaten, 6, für Mediziner, 3; Wissenschaftliche Arbeiten für Vorgeschrittene, tägl. *g*. — **Tumlirz**: Theoretische Mechanik II, 5; Übungen im mathematisch-physikalischen Seminar, 2 *g*. — v. **Lerch**: Ausgewählte Kapitel der Physik, 3. — **Hammerl**: Elektrische Energieverteilung; Licht und Kraft, Hochspannungsanlagen, 2 *g*. —

Brunner: Allgemeine Chemie II: Organische Chemie, 5; Praktische Übungen im chemischen Laboratorium für Chemiker und Pharmazeuten, tägl. außer Sonnabend, für Lehramtskandidaten, halbtägig; Chemische Übungen für Mediziner, 6. — **Hopfgartner**: Pharmazeutische Chemie, 5. — **Zehenter**: Chemische Technologie der organischen Stoffe II: Technologie der tierischen Rohstoffe, mit besonderer Berücksichtigung der Bedürfnisse des Nahrungsmittelchemikers, 2 *c*. —

Gmeiner: Algebra (Fortsetzung), 3; Zahlentheorie, 2; Übungen im mathematischen Seminar, 2 *g*. — **Zindler**: Differential- und Integralrechnung (Fortsetzung), 5, Übungen, 2 *g*. — **Menger**: Elemente der projektiven Geometrie (Fortsetzung), 2 *g*. —

Universität Jena.

Wien: Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärmelehre, 4; Physikalisches Praktikum (mit Auerbach und Pauli): a) für Mathematiker und Physiker, 6, b) für Chemiker und Pharmazeuten, 3, c) für Mediziner, 4; Physikalisches Kolloquium; Leitung physikalischer Spezialuntersuchungen (mit Auerbach, Straubel und Pauli), tägl. — **Auerbach**: Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Thermik, 4, event.; Theoretische Optik, 4; Einführung in die Theoretische Physik: Prinzipien und Methoden, 3. — **Straubel**: Geometrische Optik II, 1. — **Pauli**: Experimentalphysik III: Ergänzungen zu Teil I der Hauptvorlesung, für Fortgeschrittene, 2. —

Knorr: Allgemeine Experimentalchemie I: Anorganische Chemie, 4; Analytisch-chemisches Praktikum (mit Wolff): a) Vollpraktikum, 30, b) Halbpraktikum, 15, c) Mediziner-Vollpraktikum, 6, d) Mediziner-Halbpraktikum, 3; Chemisches Praktikum im organischen Laboratorium und Anleitung zu chemischen Spezialuntersuchungen (mit Schlenk und Schneider), 40. — **Wolff**: Maßanalyse, 1; Elektrolyse und elektrolytisches Praktikum, 2. — **Immendorff**: Grundzüge der anorganischen und organischen Chemie (Experimentalchemie), 5; Chemisches Praktikum für Landwirte: a) großes, tägl., b) kleines, 7; Agrikulturchemisches Seminar für Fortgeschrittene, 14tägig, 2 *g*. — **Vongerichten**: Technologie der Teerfarben und verwandter Industriezweige, mit Exkursionen, 2; Technisch-chemisches Praktikum, ganz- und halbtägig. — **Matthes**: Pharmazeutische Chemie II: Organische Chemie, 3; Untersuchung und Darstellung chemisch-pharmazeutischer Präparate, Ausmittelung der Gifte, 15; Praktische und theoretische Übungen aus dem Gebiete der Nahrungsmittelchemie, tägl. außer Sonnabend; Theoretische und praktische Übungen in der Sterilisierung der Arzneimittel und Verbandstoffe, Urinuntersuchungen, 3. — **Schlenk**: Chemie der heterozyklischen Verbindungen, 1; Spezielle anorganische Chemie, 2. — **Schneider**: Chemie der Alkaloide, 1. — **Kappen**: Die agrikulturchemischen Untersuchungsmethoden: Boden-, Düngemittel- und Futtermitteluntersuchung, 1; Chemische Technologie der landwirtschaftlichen Nebengewerbe, 1. —

Haußner: Analytische Geometrie der Ebene, mit Übungen im Proseminar, 5; Ausgewählte Teile der Theorie der krummen Flächen, 3; Trigonometrische Reihen, 2; Einleitung in die Algebra, 2; Seminar, 1 *g*; Proseminar, 1. — **Koebe**: Differential- und Integralrechnung, 4, Proseminar, 1 *g*; Projektive Geometrie, 4; Mathematisches Seminar, 1 *g*. — **Frege**: Allgemeine Mechanik, 4; Begriffsschrift, 1 *g*. — **Knopf**: Zeit- und Ortsbestimmung mit praktischen Übungen auf der Sternwarte, 2; Praktische Übungen in der Geländeaufnahme: Nivellieren, Feldmessen usw., 2. — **Ambronn**: Benutzung des Polarisationsmikroskops bei histologischen Untersuchungen, 1; Übungen in der Handhabung des Mikroskops und seiner Nebenapparate, 2; Neuere Methoden der wissenschaftlichen Mikroskopie, 1. — **Winkelmann**: Technische Mechanik I: Grundlagen, Stereomechanik, mit Übungen, 5; Höhere Vektoranalysis: Tensoren und Dyaden, 2. —

Technische Hochschule Karlsruhe.

Lehmann: Physik, 4, Ergänzungen, 2; Physikalisches Laboratorium (mit Schachenmeier), 6; Seminar für Experimentalphysik, 2 *g*; Anleitung zu selbständigen Arbeiten im physikalischen Laboratorium, nach Verabredung. — **N. N.**: Mathematische Physik, 3; Repetitorium der Physik, 2. — **Schachenmeier**: Optik mit besonderer Berücksichtigung der Elektronentheorie, 2. — **Richter**: Elektromaschinenbau II, 5, III, 3; Übungen im Konstruieren elektrischer Maschinen und Apparate, 4; Elektrotechnisches Laboratorium für Vorgeschrittene (mit Schleiermacher; Schwaiger und Hausrath), 8; Exkursionen zur Besichtigung elektrischer Anlagen. — **Schleiermacher**: Grundlagen der Elektrotechnik und Meßkunde, 2; Theoretische Elektrizitätslehre, 4; Elektro-

technisches Laboratorium I, 6. — **Schwaiger**: Elektromotorische Betriebe, 2; Elektrische Kraftwerke und Schaltanlagen, 2; Schalt- und Regulierapparate, 1; Nichtstationäre elektrische Vorgänge und Hochspannungstechnik, 1, Übungen, 2; Exkursionen zur Besichtigung elektrischer Anlagen, nach Verabredung. — **Teichmüller**: Allgemeine Elektrotechnik, 2; Elektrotechnisches Seminar, 2; Übertragung und Verteilung elektrischer Energie, 1 und 2, Übungen, 2; Elektrische Beleuchtung, 2; Exkursionen zur Besichtigung elektrischer Anlagen, nach Verabredung. — **Hausrath**: Instrumente- und Apparatebau, 2; Theoretische Telegraphie, 1; Hochfrequenzmessungen, 1. — **Thomälen**: Theorie der Wechselströme, 2, Übungen, 2. — **Schmidt**: Photographisches Praktikum, für Anfänger und Vorgeschrittene, 2; Exkursionen, 1 Nachmittag. — **Schultheiß**: Geschichte und Wesen der Witterungsvoraussage, 1. —

Engler: Organische Chemie I, 4; Ausgewählte Kapitel der organischen Chemie, 1; Organisch-chemisches Kolloquium (mit Franzen), 1; Chemisches Laboratorium, 5 Tage. — **Bredig**: Physikalische Chemie II, 2; Ausgewählte Kapitel der physikalischen Chemie und ihrer Anwendungen, 1; Demonstrationen technisch-elektrochemischer Prozesse (mit Askenasy), 3; Physikalisch-chemisches und elektrochemisches Kolloquium für Vorgeschrittene, 2; Physikalisch-chemisches und elektrochemisches Laboratorium, 5 Tage; Physikalisch-chemischer und elektrochemischer Einführungskurs. — **Bunte**: Chemische Technologie I, 2, II, 2; Übungen in der technischen Analyse (mit Eitner), 4, 3 und tägl.; Arbeiten im chemisch-technischen Laboratorium, 5 Tage; Technologische Exkursionen. — **Franzen**: Organische Chemie II, 2; Ausgewählte Kapitel der theoretischen Chemie, 1. — **Askenasy**: Prozesse der elektrochemischen Großindustrie I, 2. — **Dieckhoff**: Anorganische pharmazeutische Chemie, 2; Analytische Chemie I, 2. — **Eitner**: Methoden der technischen Analyse, 2; Ausgewählte Kapitel der technischen Analyse, 1; Spezielle Technologie der Gasbeleuchtung I und II, 1, Übungen, 4. — **Koenig**: Chemie der Metalle, 2. — **Reis**: Photochemie II: Wirkungen des Lichtes, 2. — **Rupp**: Chemische und mikroskopische Untersuchung von Nahrungs- und Genußmitteln sowie Gebrauchsgegenständen, 2. — **Steinkopf**: Chemie der heterozyklischen Verbindungen I und II, 1; Chemie der Alkaloide, 1. — **Terres**: Ausgewählte Kapitel der chemischen Technologie, 1. — **Ubbelohde**: Industrie des Petroleums, 1; Über Kunststoffe, 1. — **N. N.**: Chemie der Faserstoffe und Farbstoffe II, 2; Übungen in Färberei und Druckerei, 2. —

Disteli: Darstellende Geometrie I und II, 4, Übungen, 4; Konstruktive Übungen der Perspektive, 3. — **Fueter**: Grundlehren der höheren Mathematik, 4; Höhere Mathematik II, 2. — **Heun**: Mechanik I und II, 4, Übungen, 2; Mechanisches Seminar, 3 *g*. — **Krazer**: Höhere Mathematik I, 6, Übungen, 2. — **Haupt**: Übungen in den Grundlehren der höheren Mathematik, 2; Determinantentheorie, 2. — **Noether**: Stabilitäts- und Schwingungsprobleme, 2; Hydromechanik, 1. — **Wellstein**: Projektionslehre, 2, Übungen, 2. — **N. N.**: Elementare und analytische Geometrie der Ebene und des Raumes I und II, 3, Übungen, 1. — **Haid**: Geodätisches Praktikum, 6 und 3; Größere Vermessungsübungen, 2 Wochen. — **Bürgin**: Katastervermessung I, 2, Übungen, 2; Plan- und Terrainzeichnen, 2 und 4. —

Universität Kiel.

Dieterici: Experimentalphysik II: Optik, Elektrizität, Magnetismus, 5; Physikalisches Praktikum für Anfänger: a) für Mathematiker und Naturwissenschaftler, 8, b) für Mediziner und Pharmazeuten, 4, für Fortgeschrittene, tägl. — **Weber**: Thermodynamik, 4; Theorie physikalischer Messungsapparate, mit Übungen, 1; Ausgewählte physikalische Messungen und Untersuchungen, tägl. außer Sonnabend; Physikalisches Kolloquium, 2 *g*. — **Martienssen**: Die physikalischen Grundlagen der Flugtechnik, 1. —

Diels: Anorganische Experimentalchemie, 5; Chemisches Praktikum I, anorganisch (mit Mumm), tägl. außer Sonnabend, II, organisch, tägl., für Mediziner (mit Feist), 4. — **Rügheimer**: Pharmazeutische Chemie, organischer Teil, 3; Ausgewählte Kapitel aus dem Gebiet der physikalischen Chemie, 1 *g*; Pharmazeutisch-chemisches Praktikum, tägl. außer Sonnabend. — **Berend**: Repetitorium der organischen Chemie für Mediziner, 3/4. — **Feist**: Chemisch-technische Verwendung der Steinkohle, 1; Kurze Übersicht über die anorganische und organische Chemie, 1. — **Mumm**: Analytische Chemie, 2. — **Stoehr**: Über heterozyklische Verbindungen, 1. — **Preuner**: Einführung in die Elektrochemie, 2; Elektroanalytische Übungen, 2 Wochen. — **Horrmann**: Einführung in die Alkaloidchemie, 1. —

Pochhammer: Einleitung in die Zahlentheorie, 4; Einleitung in die Theorie der Determinanten, 2; Übungen im mathematischen Seminar, 1 *g*. — **Harzer**: Theorie der Bahnbestimmungen, 3, Übungen, 1. — **Jung**: Analytische Geometrie der Ebene, mit Übungen, 5; Differentialgleichungen, 3; Übungen im mathematischen Seminar, 1 *g*. — **Kobold**: Niedere Geodäsie, 2; Geodätische Übungen, 2 *g*. — **Toeplitz**: Differential- und Integralrechnung I, 4, Übungen, 1 *g*; Geometrische Übungen für mittlere Semester, 3. — **Wilkens**: Ausgewählte Kapitel der Stellarastronomie, 1. + **Neuendorff**: Darstellende Geometrie I, mit Zeichenübungen, 5; Übungen und Vorträge aus der angewandten Mathematik, 1 *g*. —

Universität Königsberg.

Kaufmann: Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 5, Ergänzungen, 1 *g*; Physikalische Übungen, 3; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl.; Physikalisches Kolloquium, 2 *g*. — **Volkmann**: Elektrodynamik, 4, Ergänzungen und Erläuterungen, mit besonderer Berücksichtigung der Grundbegriffe und Grundsätze der Mechanik, 1 *g*; Mathematisch-physikalisches Laboratorium: Physikalisch-praktische Übungen und Arbeiten für Anfänger und Vorgerückte, 6. — **Hoffmann**: Radioaktivität und Elektronik, 2, Übungen, 2 *g*. — **Schroeder**: Einführung in die Maschinenkunde II, 2; Landwirtschaftliche Maschinenkunde II, 1; Flugtechnik I, 2; Besichtigung industrieller Anlagen, *g*; Übungen aus dem Gebiete des landwirtschaftlichen Maschinenbaues, *g*. —

Klinger: Allgemeine und unorganische Chemie, 5; Mediziner-Praktikum, 2 Nachmittage; Chemisches Praktikum (mit Blochmann und Eisenlohr), tägl. außer Sonnabend; Besprechung neuerer Arbeiten (mit Blochmann, Eisenlohr und Sonn), 1 *g*. — **Rupp**: Pharmazeutische Chemie, 3; Übungen im pharmazeutisch-chemischen Laboratorium, ganz-, halbtägig und 6; Pharmazeutisch-wissenschaftliches Kolloquium, 1 *g*. — **Zielstorff**: Organische Chemie, für Landwirte, 2: Ernährung der Pflanze: Düngerlehre, 3; Praktische Übungen im chemischen Laboratorium, tägl.; Landwirtschaftliche Exkursionen, 1 Nachmittag, *g*. — **Blochmann**: Technische Chemie der Metalle, 2; Ausgewählte Kapitel aus der analytischen Chemie, 1 *g*. —

Meyer: Analytische Geometrie der Ebene, mit Übungen, 4; Höhere Algebra: Theorie der Gleichungen, 4; Übungen im mathematischen Seminar, *g*; Mathematische Gesellschaft, *g*. — **Battermann**: Geographisch-astronomische Ortsbestimmung, 2, Übungen, 1 Abend *g*. — **Boehm**: Theorie der Funktionen einer komplexen Veränderlichen, 3; Differential- und Integralrechnung I, mit Übungen, 4; Anfangsgründe der Differentialgleichungen, 1; Seminar, 1 *g*. — **Kaluza**: Niedere Geodäsie, mit Übungen, 4; Repetitorium der Elementarmathematik, 3; Flächen zweiter Ordnung, 2. —

Universität Leipzig.

Wiener: Experimentalphysik I: Mechanik, Wärme, Akustik, 5; Selbständige physikalische Arbeiten für Vorgeschrittene (mit Scholl und Füchtbauer), tägl.; Physikalisches Praktikum (mit Scholl und Füchtbauer), 6, für Mediziner und Pharmazeuten, 3; Physikalisches Kolloquium (mit Des Coudres), 2 *g*. — **Des Coudres**: Ein-

leitung in die theoretische Physik: Wellen, Diffusion, Potential, 4; Selbständige physikalische Arbeiten für Vorgeschrittene (mit Fredenhagen), tägl. — **Bjerknes**: Hydrodynamik, mit Anwendungen auf Luft- und Meeresbewegungen, 2; Selbständige Arbeiten im Geophysikalischen Institut, für Vorgeschrittene (mit Wenger), tägl.; Geophysikalisches Kolloquium (mit Wenger), 2 *g*. — **v. Oettingen**: Geometrisch-perspektivisches Zeichnen, 1 *g*. — **Fischer**: Einführung in die mathematische Behandlung der Naturwissenschaften: Differential- und Integralrechnung, mit Übungen, für Mediziner und Naturwissenschaftler, 3; Allgemeine Gelenklehre (im Anschluß an die Vorlesung Systematische Anatomie): Knochen und Gelenke, 1. — **Scholl**: Wärmekraftmaschinen, 1. — **Marx**: Thermodynamik, 2. — **Haas**: Geschichte der Physik von ihren Anfängen bis zum Ende des 18. Jahrhunderts, 2 *g*; Selbständige geschichtlich-physikalische Arbeiten für Vorgeschrittene, nach Übereinkunft, *g*. — **Lilienfeld**: Erzeugung und Verwendung tiefer Temperaturen, 1 *g*. — **Wenger**: Die atmosphärischen Störungen, 2 *g*. –

Hantzsch: Anorganische Experimentalchemie, 5, Ergänzung, 1 *g*; Analytisch- und präparativ-chemisches Praktikum (mit Schaefer), tägl.; Chemisches Praktikum für Mediziner und Zahnärzte (mit Schaefer), 6; Organisch-chemisches Praktikum (mit Reddelien), tägl.; Chemisches Praktikum für Fortgeschrittene (mit Stobbe, Rassow, Schaefer und Reddelien), tägl. — **Le Blanc**: Physikalische Chemie II: Elektrochemie, mit Demonstrationen unter Berücksichtigung der Technik, 3; Chemisches Praktikum für Anfänger: Analytische und präparative, anorganische und organische Arbeiten (mit Böttger), tägl.; Physikalisch-chemisches Praktikum (Photochemisch-photographisches mit Weigert, elektrochemisches und kolloidchemisches mit Böttger), tägl.; Physikalisch-chemischer Einführungskurs, auch für Mediziner, auf Wunsch Darstellung elektrochemischer Präparate (mit Schall und Böttger), 4 oder 8. — **Paal**: Organische Experimentalchemie, 5; Chemisches Praktikum, analytisch, anorganisch und organisch (mit Sieverts, Deußen, Scheiber und Waentig), tägl.; Arbeiten auf dem Gebiete der Nahrungsmittelchemie (mit Deußen und Waentig), tägl.; Pharmazeutisch-chemisch-toxikologisches Praktikum (mit Deußen und Scheiber), tägl.; Chemisches Praktikum für Mediziner und Zahnärzte (mit Sieverts und Waentig), 6, für Vorgerücktere (mit Heller, Deußen, Sieverts, Scheiber und Waentig), tägl.; Chemisch-technisches Praktikum (mit Heller), tägl. — **Stobbe**: Spezielle organische Chemie: Die aromatischen Verbindungen, 2. — **Wagner**: Übersicht über die organischen Verbindungen, 1; Technik der Experimentalchemie und Demonstrationen von Schulversuchen, 1 *g*; Chemisches Praktikum für Lehrer: Schulversuche, Analyse und Präparate, tägl., Didaktische Besprechungen: Physikalische und chemische Grundbegriffe, mit Lehrübungen, 1 *g*. — **Rassow**: Chemische Technologie, Brenn- und Leuchtstoffe, sowie ausgewählte anorganische Betriebe, 2; Technologische Exkursionen, nach Verabredung *g*; Chemisch-technologisches Praktikum, tägl.; Schieß- und Sprengstoffe, 1 *g*. — **Weigert**: Spektroskopie, 1; Photochemische und photographische Arbeitsmethoden, mit praktischen Übungen, 4. — **Schall**: Ausgewählte Kapitel der elektrochemischen Technik (u. a. Elektrolyse bei Wasserausschluß), 1. — **Böttger**: Elektroanalyse, 1; Übungen in Elektroanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Schnellmethoden, 4 *g*. — **Heller**: Chemie der organischen Farbstoffe, 2. — **Sieverts**: Übungen in technischer Gasanalyse, 1. — **Deußen**: Übungen in der Analyse des Harns, für Anfänger und Geübtere, 3; Übungen im Sterilisieren für Pharmazeuten, nach Verabredung. — **Schaefer**: Analytische Chemie unter Berücksichtigung ihrer theoretischen Grundlagen, mit Demonstrationen, 2; Die Wandlungen des Atombegriffs, 1 *g*. — **Reddelien**: Neuere Theorie und Forschungsergebnisse der organischen Chemie, 1. —

Hölder: Bestimmte Integrale, 3; Variationsrechnung, 3; Mathematisches Seminar: Übungen in Integralrechnung, 1 *g*. — **Bruns**: Allgemeine Astronomie, 4; Praktikum zur Instrumentenkunde, nach Verabredung; Praktische Arbeiten in der Sternwarte, nach Verabredung *g*. — **Rohn**: Algebraische Kurven, 4, Übungen, 1 *g*. — **Herglotz**: Algebraische Analysis, 2; Analytische Geometrie der Ebene, 4. — **Blaschke**: Funktionentheorie, 4, Übungen, 14tägig, 2 *g*. —

Universität Marburg.

Richarz: Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Optik, 5; Übersicht über die Physik für Kriegsteilnehmer, 1; Physikalisches Kolloquium, 2 *g*; Physikalisches Praktikum (mit Feußner und Schulze), 6; Leitung eigener Untersuchungen, tägl. — **Feußner**: Theoretische Physik: Analytische Mechanik, 4; Theoretisch-physikalisches Seminar, 2 *g*. — **Schulze**: Hydrodynamik und Akustik, 2. — **Take**: Ausgewählte Kapitel aus der Elektrizitätslehre, mit Experimenten, 1; Physikalische Technologie, mit Demonstrationen und Exkursionen, 1½. — **Wegener**: Elementarkursus der geographischen Orts- und Zeitbestimmung, 2. —

v. Auwers: Anorganische Experimentalchemie, 6; Chemisches Praktikum (mit Fries), tägl. außer Sonnabend, für Vorgerückte, tägl.; Chemische Übungen für Mediziner (mit Strecker), tägl. außer Sonnabend; Praktisch-chemischer Kursus für Mediziner (mit Strecker): Theoretische Einführung, mit Demonstrationen, ½, Praktikum, 3½; Chemisches Seminar, 14tägig, 2 *g*. — **Keller**: Anorganische Chemie, mit besonderer Berücksichtigung der Pharmazie und Medizin, 6; Nahrungsmittelchemie, allgemeiner Teil: Bestandteile, Abriß der Ernährungslehre, allgemeine Untersuchungsmethoden, 1; Übungen im Sterilisieren, nach Verabredung; Kolloquium mit Übungen über Arzneimittelprüfung, 1 *g*. — **Strecker**: Gewichtsanalyse, 2; Titrieranalyse, 1; Repetitorium der anorganischen Chemie, 2. — **Flade**: Kolloidchemie, 1; Chemische Technologie III, 2. — **Fries**: Ausgewählte Kapitel aus der organischen Chemie: Chemie der aliphatischen Verbindungen, 3; Chemisches Kolloquium, 2 *g*; Chemisches Repetitorium für Mediziner: Organische Chemie, 1. — **Schmidt**: Praktische Übungen in der analytischen und forensischen Chemie, sowie in der Untersuchung der Nahrungs- und Genußmittel und selbständige chemische Arbeiten (mit Keller), tägl., Qualitative Analyse, *g*. — **Thiel**: Physikalische Chemie I, 3; Theoretische Übungen über ausgewählte Kapitel der physikalischen Chemie, 1 *g*; Physikalisch-chemisches Praktikum, 6; Anleitung zu selbständigen Untersuchungen, tägl.; Photochemisches und photographisches Praktikum, für Anfänger und Fortgeschrittene (mit Stuchtey), 2. —

Hensel: Elementare Theorie der Differentialgleichungen und der Vektoranalysis, 3; Funktionentheorie, 4; Mathematisches Proseminar: Theorie und Anwendung der Determinanten, 1 *g*. — **Neumann**: Analytische Geometrie, 4; Analytische Mechanik II, 3, Seminar, 2 *g*. — **v. Dalwigk**: Differentialrechnung, 4; Elliptische Funktionen II, 2; Darstellende Geometrie, mit Übungen, 2; Interpolation, numerisches und graphisches Rechnen, 1 *g*. —

Universität München.

Röntgen: Experimentalphysik II: Wärme und Elektrizität, 5; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl.; Praktische Übungen im Physikalischen Laboratorium (mit Koch und Wagner), 12. — **Sommerfeld**: Partielle Differentialgleichungen der mathematischen Physik, 4, Übungen, 2 *g*; Grundlagen der Elektrodynamik, 1. — **Graetz**: Experimentalphysik II: Mechanik, Akustik, Optik, 5; Physikalisches Praktikum: a) Übungen in physikalischen Messungen, b) Übungen in physikalischen Demonstrationen, 4; Die physikalische Kriegstechnik, mit Demonstrationen, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten aus der Physik, nach Verabredung *g*. — **Koch**: Elektromagnetische Schwingungen und drahtlose Telegraphie, mit Demonstrationen, 2. — **Wagner**: Über Radioaktivität, 1. — **Donle**: Einführung in die theoretische Elektrizitätslehre, 2. —

Willstätter: Organische Experimentalchemie, 5; Einführung in die Chemie, 1 *g*; Praktische Arbeiten im Chemischen Laboratorium (Unorganische Abteilungen mit Piloty, Vanino und Prandtl, Organische Abteilung mit Dieckmann und Wieland), tägl. außer Sonnabend; Chemisches Praktikum für Mediziner (mit Piloty und Vanino), 4; Arbeiten im Chemischen Laboratorium für fortgeschrittenere Mediziner (mit Piloty), halb- oder ganztägig. — **Paul**: Anorganische Chemie mit besonderer Berücksichtigung ihrer Anwendung, 5; Nahrungsmitteichemie I, mit Exkursionen, 2; Pharmazeutisch-chemische Präparatenkunde: Organische Präparate, 3; Chemisches Praktikum: Praktische Übungen, einschließlich physikalisch-chemischer, elektrochemischer und nahrungsmittel-chemischer Arbeiten, tägl. außer Sonnabend; Pharmazeutisch-chemisches Praktikum: Praktische Übungen, einschließlich der Übungen in den für den Apotheker wichtigen Sterilisationsverfahren, tägl. außer Sonnabend. — **Prandtl**: Spezielle unorganische Experimentalchemie I: 1. bis 4. Gruppe des periodischen Systems, 4; Praktikum für Gasanalyse, 4. — **Wieland**: Teerfarbstoffe, 3. — **Dieckmann**: Stereochemie, 1 *g*. — **Pummerer**: Explosivstoffe, 1 *g*. — **Meyer**: Physikalisch-chemisches Praktikum, 4; Kolloidchemie, 1. —

Lindemann: Anwendung der Infinitesimalrechnung auf die Theorie der Kurven und Flächen im Raume, 5; Theorie der Substitutionen und der höheren algebraischen Gleichungen, 4; Übungen und Vorträge im Mathematischen Seminar, 1½ *g*. — **v. Seeliger**: Wahrscheinlichkeitsrechnung und Methode der kleinsten Quadrate, 4; Praktisch-astronomische Übungen (mit Großmann), nach Verabredung. — **Voß**: Differentialrechnung, 5, Übungen, 2 *g*; Mathematisches Seminar: Übungen und Vorträge, 2 *g*. — **Pringsheim**: Ausgewählte Kapitel aus der Funktionen-Theorie, 4. — **Brunn**: Elemente der höheren Mathematik, mit besonderer Berücksichtigung der Forststudenten, 4. — **Hartogs**: Synthetische Geometrie III: Ausgewählte Kapitel, 4. — **Dingler**: Elementarmathematik, mit geschichtlichen und pädagogischen Hinweisen, 4; Einführung in die mathematische Behandlung von Beobachtungsdaten, 2. — **Rosenthal**: Determinanten, für Anfänger, 2; Theorie der trigonometrischen Reihen, 3; Seminar: Übungen über ausgewählte Fragen der höheren Mathematik, für mittlere Semester, 2. —

Technische Hochschule München.

Fischer: Experimentalphysik II: Magnetostatik, Elektrostatik, elektrische Strömung, veränderliches elektromagnetisches Feld, Elektrooptik, 4; Grundzüge der Physik II: Optik, Elektrizität und Magnetismus, 3; Apparate und Methoden des physikalischen Unterrichts II: Optik, Elektrizität, Magnetismus, 3; Praktisch-physikalische Übungen: Aufbau und Handhabung von Apparaten, 4; Einführung in die wissenschaftlichen Arbeitsmethoden der Physik, 8—30. — **Emden**: Physikalisches Praktikum, 4 oder 8; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten auf dem Gebiete der Physik, 12—30; Flugzeuge, 3. — **Knoblauch**: Technische Meßmethoden, 2; Technisch-physikalisches Praktikum, 4; Anleitung zur Ausführung wissenschaftlicher Arbeiten auf dem Gebiete der technischen Physik, nach Verabredung. — **Voit**: Angewandte Physik: Heizung, Lüftung, Akustik der Gebäude, Blitzableiter, 2; Schwachstromtechnik: Telegraphie, Telephonie und drahtlose Telegraphie, 2. — **Heinke**: Einführung in die Elektrotechnik, 2, Übungen, 2; Elektrotechnik für Maschineningenieure, 3; Elektrische Meßtechnik I, 3; Elektrotechnisches Praktikum I: Meßtechnik und Photometrie, 4 und 2; Elektrotechnisches Praktikum für Vorgeschrittene, nach Verabredung. — **Ossanna**: Theorie und Konstruktion der elektrischen Maschinen III: Transformatoren und Asynchronmotoren, 4; Elektrotechnisches Praktikum II: Messungen an Maschinen, Umformern und Transformatoren, 4 und 2; Wechselstrom-Kommutatormotoren, 2; Entwerfen von elektrischen Maschinen, 4; Entwerfen von Wechselstrom-Kommutatormotoren, 4. — **Kadrnozka**: Elektrische Anlagen I: Elektrische Beleuchtung, 3, II: Erzeugung und Verteilung elektrischer Arbeit, 2, Übungen: Entwerfen elektrischer Anlagen 4. — **Urban**: Unterrichtskurse in praktischer Photographie, 1, Praktische Übung, 3. —

Manchot: Allgemeine Experimentalchemie einschließlich der Grundzüge der organischen Chemie, 5; Unorganisches und analytisch-chemisches Praktikum für Anfänger und Vorgerücktere, 10, 20 oder 30; Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten im unorganischen Laboratorium, nach Verabredung. — **Lipp**: Organische Chemie, 5; Chemisches Praktikum im organischen Laboratorium, 20—30; Spezielle Arbeiten auf dem Gebiete der organischen Chemie, 30. — **Albert**: Chemische Technologie der organischen Arsenverbindung mit besonderer Berücksichtigung ihrer pharmazeutischen Verwendbarkeit, 1. — **Rohde**: Chemie der hydroaromatischen Verbindungen, 2. — **Hofer**: Analytische Chemie der Metalle und Metalloide nebst Gewichts- und Maßanalyse I, 4; Die elektrochemischen Prozesse, 2; Praktikum im elektrochemischen Laboratorium, 10, 20 oder 30; Praktikum in der technischen Gasanalyse, 3. — **Schultz**: Chemische Technologie III: Chemische Großindustrie, 2, IV: Mörtelmaterialien, Glas- und Tonwaren, 2; Praktikum im chemisch-technischen Laboratorium, 20—30; Spezielle Arbeiten auf dem Gebiete der technischen Chemie, nach Verabredung; Chemisches Praktikum für Kandidaten des höheren Zoll- und Steuerdienstes, 3. — **Jacob**: Ausgewählte Kapitel der chemischen Technologie, 1. — **Braß**: Ausgewählte Teile der Farbstoffchemie, 1. — **Lintner**: Chemie der Nahrungs- und Genußmittel, 2; Gärungschemisches Praktikum, bis 30; Anleitung zu selbständigen Arbeiten im gärungschemischen Laboratorium, nach Verabredung; Grundzüge der organischen Chemie und Einführung in die Technologie und Warenkunde mit besonderer Berücksichtigung der Gärungsgewerbe, 4. —

Faber: Höhere Mathematik II, 6, Übungen, 2. — **v. Dyck**: Höhere Mathematik IV, 2, Übungen, 2; Algebra, 4; Mathematisches Seminar (Kolloquium) (mit Finsterwalder und Liebmann), 2. — **Doehlemann**: Grundzüge der höheren Mathematik II, 4, Übungen, 2; Darstellende Geometrie II, 4, Übungen, 4; Synthetische (neuere) Geometrie, 4; Übungen: Flächen 2. Ordnung, 1. — **Liebmann**: Integralgleichungen, 4; Ausgleichungsrechnung: Methode der kleinsten Quadrate, 2, Übungen, 1. — **Lagally**: Mathematische Elastizitätslehre, 3. — **Finsterwalder**: Darstellende Geometrie II, 4, Übungen, 4. — **Schmidt**: Vermessungskunde II, 4, Praktikum, 4 und 8; Hauptvermessungsübungen, 2 Wochen. — **Großmann**: Elemente der Astronomie, 2. — **Föppl**: Technische Mechanik I: Einführung in die Mechanik, 4, IV: Dynamik, 3, Übungen, 2; Praktikum im mechanisch-technischen Laboratorium, 2. —

Universität Münster.

Schmidt: Experimentalphysik: Mechanik, Akustik und Wärme, 5; Theoretische Elektrizitätslehre, 4; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 3 und 6; Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene, tägl.; Physikalisches Seminar, 14tägig, 2 *g*. —

Schenck: Allgemeine und anorganische Experimentalchemie, 6; Chemisches Praktikum (mit Ley), tägl. außer Sonnabend; Chemische Übungen für Mediziner (mit Kaßner und Ley), 4; Chemisches Kolloquium, nach Verabredung, *g*. — **Salkowski**: Die Metalle: Gruppe VI, VII und VIII des periodischen Systems, 2. — **Kaßner**: Organische Chemie, mit besonderer Berücksichtigung der Medizin und Pharmazie, 4; Kolloquium über pharmazeutische Präparate und die Gegenstände des Deutschen Arzneibuchs, 1; Ausgewählte Kapitel der chemischen Technologie, mit besonderer Berücksichtigung der Papier- und Zellulosefabrikation und der Zündrequisiten, 1; Über Gifte und deren Nachweis in Untersuchungsobjekten, 1 *g*; Pharmazeutisch-chemische, maßanalytische und toxikologische Übungen im Laboratorium, Darstellung chemischer Präparate, Gasanalyse, Anleitung zur Bearbeitung selbständiger wissenschaftlicher oder technischer Aufgaben, tägl.

außer Sonnabend. — **Ley**: Organische Chemie II, 3. — **Krammacher**: Physiologische Chemie, 2. — **König**: Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten auf dem Gebiete der angewandten Chemie, für Fortgeschrittene, tägl. *g*. — **Killing**: Differential- und Integralrechnung I, 4, Übungen, 1 *g*; Übungen des mathematischen Oberseminars, 2 *g*; Übungen des mathematischen Unterseminars, 2 *g*; Weierstraß und seine Entdeckungen, 2; Synthetische Geometrie, 4. — **Plaßmann**: Analytische Geometrie I, 4; Das Sonnensystem, 2 *g*; Interpolationsrechnung, 1; Übungen im Beobachten und Rechnen, nach Verabredung *g*. — **Schewior**: Technische Mechanik II: Festigkeitslehre, 2, Übungen, 1 *g*; Geodätisches Praktikum, 3; Praxis der Photogrammetrie und Stereophotogrammetrie, 1; Instrumente der Geodäsie, Topographie und geographischen Ortsbestimmung, 1; Topographische Übungen im Gelände (mit Meinardus), nach Verabredung *g*; Topographische Aufnahmen, mit Einschluß der Routenaufnahmen auf Reisen, 1. —

Universität Rostock.

Heydweiller: Experimentalphysik: Allgemeine Physik, Akustik, Wärme, 5; Physikalische Übungen: a) für Mathematiker und Naturwissenschaftler, 8, b) für Mediziner und Pharmazeuten, 4; Wissenschaftlich-physikalische Arbeiten, tägl.; Physikalisches Seminar (mit Weber), 1. — **Weber**: Analytische Mechanik, 3, Übungen, 1; Einleitung in die Optik, 2. —

N. N.: Anorganische Chemie, 5; Übungen im chemischen Laboratorium: a) Großes chemisches Praktikum, auch für wissenschaftliche Arbeiten, tägl. außer Sonnabend, b) Kleines chemisches Praktikum, 9, c) Übungen für Mediziner und Nahrungsmittelchemiker, 4. — **Stoermer**: Organische Chemie II: Chemie der Benzolderivate, 4; Maßanalyse, 1; Wissenschaftliche chemische Arbeiten, tägl. außer Sonnabend. — **Honcamp**: Agrikulturchemie II: Tierernährung, 2; Agrikulturchemisches Praktikum, tägl. — **Kümmell**: Elektrochemie, 3. —

Staude: Theorie der Kurven und Flächen, 4; Analytische Mechanik, 4; Mathematisches Seminar, 2. —

Universität Straßburg.

Braun: Experimentalphysik I: Mechanik, Molekularphysik, Optik, 5; Physikalische Übungen, 5 oder 10; Übersichtskursus für Mediziner, 3; Wissenschaftliche physikalische Arbeiten, tägl. außer Sonnabend; Physikalisches Kolloquium, 2 *g*. — **Cohn**: Einleitung in die theoretische Physik, 3; Wissenschaftliche physikalische Arbeiten. — **Rohmann**: Elektronen (experimentell), 2. — **Hecker**: Die Arbeitsmethoden der Erdbebenforschung, 1. —

Thiele: Allgemeine Experimentalchemie, organischer Teil, 5; Chemisches Praktikum für Anfänger und Vorgeschrittene (mit Wedekind und Straus), tägl. außer Sonnabend, in der anorganischen Abteilung auch halbtägig; Kolloquium über organische Chemie, 1 *g*. — **Rose**: Chemische Technologie der Schwermetalle, 3; Die seltener gebrauchten Mineralfarben, 1 *g*. — **Wedekind**: Physikalische Chemie, 3; Analytische Chemie I, 2; Gasanalytische Übungen, 2; Physikochemisches und elektrochemisches Praktikum, 4; Kolloquium über Fortschritte der anorganischen Chemie, 14tägig, 1 *g*. — **Straus**: Benzolderivate I, 3. — **Kreutz**: Chemie und Technologie des Weines, Schaumweines und der Branntweine, 1. — **Ruggli**: Synthesen der organischen Chemie, 1. — **Weitz**: Chemie der Komplexverbindungen, 1. — **Oesterle**: Pharmazeutische Chemie und chemische Toxikologie, 5; Arbeiten im pharmazeutischen Institut, tägl. außer Sonnabend; Pharmakognostisch-mikroskopische Übungen, 3; Pharmakochemisches Kolloquium, nach Verabredung, *g*. —

Schur: Differential- und Integralrechnung II, 3; Theorie der Flächen 2. Grades, 2; Übungen des mathematischen Seminars, 1 1/2. — **Wellstein**: Lineare Differentialgleichungen, 3; Axonometrie und Perspektive, 2. — — **Simon**: Nicht-Euklidische Geometrie in elementarer Behandlung, 2. — **Epstein**: Grundbegriffe der Analysis, 2. — **Speiser**: Mechanik, 2. — **Bauschinger**: Einleitung in die Mechanik des Himmels, 4; Übungen an den Instrumenten der Sternwarte für Fortgeschrittene, nach Verabredung. — **Wirtz**: Erläuterungen und Übungen zur Kartenentwurfslehre, 2. —

Universität Tübingen.

Paschen: Experimentalphysik: Mechanik, Optik, 5; Physikalische Übungen für Anfänger, 4, für Fortgeschrittene, halbtägig; Selbständige wissenschaftliche Untersuchungen, ganztägig. — **N. N.**: Theoretische Physik: Einleitung und Theorie der Wärme, 3, Übungen, 1. — **Rosenberg**: Die Astronomie im Schulunterricht und die Einrichtung von Schulsternwarten, mit Demonstrationen, 1; Leitung selbständiger astronomischer und astrophysikalischer Arbeiten für Fortgeschrittene, tägl. —

Wislicenus: Experimentalchemie II: Organische Chemie, 5, Ergänzungen, 1; Praktische Arbeiten im chemischen Laboratorium für Anfänger und Fortgeschrittene, Voll- und Halbpraktikum, tägl., a) Analytisch-chemisches Praktikum (mit Bülow und Weinland), b) Chemisch-pharmazeutisches Praktikum (mit Weinland), c) Präparative Arbeiten (mit Kliegl), d) Physikalisch-chemisches Praktikum (mit Magnus), 1 Nachmittag, e) Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Untersuchungen (mit Bülow, Weinland, Kliegl, Magnus, auf dem Gebiete der physikalischen Chemie), ganztägig; Abgekürztes Praktikum für Mathematiker und Forststudierende (mit Bülow), 2 oder 3 Halbtage. — **Thierfelder**: Physiologische Chemie der Kohlehydrate, Fette und Eiweißstoffe, 2; Praktisch-chemische Übungen für Anfänger I: Qualitative Analyse, 6, II: Quantitative Analyse und physiologisch-chemische Übungen, 6; Physiologisch-chemische Arbeiten für Geübtere, tägl. — **Bülow**: Analytische Chemie II, auch für Anfänger, mit besonderer Berücksichtigung der praktischen Arbeiten im chemischen Laboratorium, 3; Aromatische Chemie: Karbozyklische Verbindungen, 1—2. — **Weinland**: Chemie der Arzneistoffe II: Organischer Teil, 1 3/4; Chemie der anorganischen Komplexe, 3/4; Quantitative Untersuchung der Arzneistoffe, 3/4; Nachweis von Giften für gerichtliche Zwecke, 3/4. — **Kliegl**: Zyklische Verbindungen I: Einkernige Benzolderivate, 3. — **Magnus**: Physikalisch-chemisches Kolloquium, 1. — **Brigl**: Chemie der Blut- und Pflanzenfarbstoffe, 1. — **Krais**: Technische Warenkunde, Exkursionen, 5—6. —

v. Brill: Mechanik, 5; Übungen im mathematischen Seminar, 2. — **Maurer**: Funktionentheorie, 3; Invariantentheorie, 2; Mathematisches Seminar, 2. — **König**: Analysis I: Differentialrechnung, 3, Übungen, 1; Synthetische Geometrie, 3, Übungen, 1. — **Happel**: Einführung in die Variationsrechnung, 2. —

Universität Würzburg.

Wien: Experimentalphysik II: Elektrizität und Optik, 5; Praktische Übungen im physikalischen Institut, 4 bzw. 8, für Mediziner und Pharmazeuten, 4; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. —

Buchner: Organische Experimentalchemie, 5; Analytisch-chemisches Praktikum (mit Emmert), tägl. außer Sonnabend; Chemisches Praktikum für Mediziner (mit Emmert und Supan), 6; Praktikum für präparative Arbeiten, tägl.; Anleitung zu selbständigen Untersuchungen (mit Emmert), tägl.; Physikalisch-chemischer Einführungskurs (mit v. Halban), 2 Wochen; Kolloquium (mit Emmert und v. Halban), 14tägig, 1 1/2 *g*. — **Heiduschka**: Chemische Technologie I, 4; Anorganische Chemie mit besonderer Berücksichtigung ihrer Anwendung, 5; Pharmazeutisch-chemische Präparatenkunde: Organische Präparate, 3; Nahrungsmittelchemie I, mit Exkursionen, 1; Chemisches Praktikum: Praktische Übungen, einschließlich technisch-chemischer, gerichtlich-chemischer und nahrungsmittelchemischer Arbeiten, tägl. außer Sonnabend; Pharmazeutisch-chemisches Praktikum: Praktische Übungen einschließlich der Übungen in den für den Apotheker wichtigen Sterilisationsverfahren, tägl.

außer Sonnabend. — **Pauly**: Tagesfragen der praktischen Chemie, nach Verabredung, *g*; Anleitung zu selbständigen Untersuchungen, tägl. — **Emmert**: Maßanalyse, (Experimentalvorlesung), unter Berücksichtigung der durch das Deutsche Arzneibuch vorgeschriebenen Methoden. —

Rost: Sphärische Astronomie II, mit Übungen auf der Sternwarte, 4; Anwendung der Differentialrechnung auf die Theorie der ebenen Kurven, 4; Proseminar: Vorträge und Übungen aus der Elementarmathematik, 4 *g*; Seminar: Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten, nach Verabredung, *g*; Seminar für Versicherungswissenschaft: Einführung in die höhere Mathematik, 2 *g*. — **v. Weber**: Integralrechnung, 4, Übungen, 2 *g*. — **Hilb**: Determinanten, 4; Grundlagen der Geometrie und Arithmetik, 3. —

Universität Zürich.

Meyer: Experimentalphysik: Elektrizität und Optik, 4. Mathematische Ergänzungen, 1 *g*; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 1_2 Tag, für Vorgerücktere, $^1/_2$ Tag, Ausführung selbständiger wissenschaftlicher Arbeiten, tägl.; Physikalisches Kolloquium, 2 *g*. — **Greinacher**: Die elektrischen Ströme in Gasen auf Grund der Ionenlehre, mit Experimenten, 1; Radiologisches Praktikum, halbtägig. — **Ratnowsky**: Einführung in die theoretische Physik: Mechanik des Massenpunktes, des starren Körpers und Mechanik der Kontinua, 3; Elektromagnetische Lichttheorie, 2; Neuere Probleme der theoretischen Physik, 1. — **Wolfke**: Einführung in die Vektorrechnung der Physik, 2; Wärmestrahlung und Quantentheorie, 2. —

Werner: Organische Experimentalchemie, 5; Chemisch-analytisches Praktikum für Chemiker, tägl.; Chemisches Praktikum für Vorgerücktere: Präparative Arbeiten, Ausführung selbständiger Arbeiten, tägl., für Naturwissenschaftler, halbtägig. — **Abeljanz**: Quantitative chemische Analyse mit Berücksichtigung der elektrolytischen Methoden, 2; Nahrungsmittelchemie, 1; Anleitung zu chemischen Arbeiten, 1; Chemisches Kolloquium, 1 *g*; Chemisches Praktikum für Mediziner und Veterinäre, sowie für Naturwissenschaftler, 3 Tage, für Lehramtskandidaten, 6; Übungen im Untersuchen von Nahrungs- und Genußmitteln, 4 oder 8. — **Pfeiffer**: Aromatische Chemie II: Farbstoffe, 3; Eiweißchemie, 1; Phasenlehre, 2. — **Baudisch**: Chemie, Physiologie und Pathologie des Stoffwechsels, 1. — **Jantsch**: Seltene Elemente, 2. — **Reichinstein**: Galvanische Polarisation, 2. — **Dubsky**: Organische Arbeitsmethoden, 1; Riechstoffe: Chemische Konstitution und Geruch, 1. — **Lifschitz**: Einführung in die mathematische Behandlung chemischer Probleme, 2. —

Zermelo: Einführung in die Funktionentheorie, 4; Elemente der Zahlentheorie, 4; Mathematische Übungen für Vorgeschrittene, 2. — **Weiler**: Darstellende Geometrie II, mit Übungen, 4; Analytische Geometrie II, 4; Synthetische Geometrie, 3. — **Bernays**: Differential- und Integralrechnung II, mit Übungen, 4; Einführung in die Theorie der Integralgleichungen, 3. — **Wolfer**: Geographische Ortsbestimmung, 3; Übungen im astronomischen Beobachten, 3 Abende; Einleitung in die Astrophysik, 2. —

Technische Hochschule Zürich.

Weiß: Physik II, 4, Repetitorium, 1; Physikalisches Praktikum für Anfänger (mit Schweitzer), 4, 6 und 8; Wissenschaftliche Arbeiten in Physik, 8, 12, 24. — **Schweitzer**: Physik II, 3, Ergänzungen, 1, Repetitorium, 1, Übungen, 1; Experimentalphysik, 4, Repetitorium, 1, Theoretische Ergänzungen, 1; Thermodynamik, 2. — **Piccard**: Physikalische Meßmethoden, 1. — **Wolfke**: Einführung in die Vektorenrechnung der Physik, 2; Wärmestrahlung und Quantentheorie, 2; Wissenschaftliche Grundlagen der Beleuchtungstechnik, 1. — **Wyßling**: Elektrische Anlagen II, 2; Elektrische Bahnen, 3; Diplomarbeiten in elektrischen Anlagen (mit Kuhlmann und Farny). — **Kuhlmann**: Theoretische Elektrotechnik I, 5, Repetitorium, 1, III, 4, Repetitorium, 1; Elektrotechnisches Laboratorium IIa, 4 und 8. — **Farny**: Elektrische Maschinen II, 3, Konstruktionsübungen, 9. — **Korda**: Angewandte drahtlose Telegraphie und Hochfrequenzmaschinen, 1. — **Tobler**: Schwachstromtechnik II, 1. — **Barbieri**: Photographie II, 1; Photogrammetrie, 1; Photographisches Praktikum, 2; Militärphotographische Übungen, 14tägig, 3. —

Treadwell: Analytische Chemie II, 2; Chemisch-technische Analyse, 4, Repetitorium, 1; Probierkunde mit Übungen, 2; Analytisches Praktikum, 20, 16 und 10; Chemisches Praktikum, 2 und 4; Analytisch-chemisches Praktikum für Vorgerücktere, tägl. — **Baur**: Physikalische Chemie I, 2, Repetitorium, 1; Technische Elektrochemie, 2, Repetitorium, 1; Physikalisch-chemisches Praktikum, 8; Elektrochemisches Praktikum, 4; Chemisches Praktikum für Vorgerücktere, tägl. — **Bolhard**: Anorganische chemische Technologie II: Alkalien, Chlor, Phosphate, 3, Repetitorium, 1, III: Silikate, 2, Repetitorium, 1; Technologie der Kohlehydrate und der Gärung, 2; Technisch-chemisches Praktikum, 16 und 24; Chemisches Praktikum für Vorgerücktere, tägl.; Kriegschemie: Die Anpassung der chemischen Gewerbe an die neuen Verhältnisse, 1. — **Cérésole**: Organische Technologie II: Künstliche organische Farbstoffe, 3, Repetitorium, 1; Fette und Beleuchtungsmaterialien, 2, Repetitorium, 1; Explosivstoffe, 1; Technisch-chemisches Praktikum, 16 und 24; Chemisches Praktikum für Vorgerücktere, tägl.; Farbenchemisches Praktikum für Vorgerücktere, tägl. — **Constam**: Industrielle Feuerungen, 1. — **Eder**: Chemische Harnanalyse, 1. — **Hartwich**: Pharmazeutische Chemie, 5; Ätherische Öle, 1; Toxikologie, 2; Pharmazeutisch-chemisches Praktikum, 12; Technische Mikroskopierübungen II: Genußmittel und Gewürze, 3; Pharmakognostische Übungen für Vorgerücktere, tägl.; Warenkunde, 1. — **Staudinger**: Organische Chemie, 6, Repetitorium, 1. Spezieller Teil II, 2, Repetitorium, 1; Chemisches Praktikum, 24, 10 und tägl., für Vorgerücktere, tägl. — **Winterstein**: Organische Chemie, 3, Repetitorium, 1; Physiologische Chemie, 2; Anleitung zu dem agrikulturchemischen Praktikum, 1; Agrikulturchemisches Praktikum, 8, für Vergerücktere, tägl.; Physiologisch-chemisches Praktikum für Vorgerücktere, tägl. —

Hurwitz: Zahlentheorie, 4; Mathematisches Seminar (mit Großmann), 2. — **Amberg**: Mathematik der Lebensversicherung II, 2. — **Baeschlin**: Vermessungskunde I, 3. Übungen I, 3, III, 4. Übungen II, 8; Vermessungsübung, 2 Wochen; Große Vermessungsübung, 3—4 Wochen; Konstruieren geodätischer Instrumente, 2; Diplomarbeit im Vermessungswesen, 6 Wochen. — **Feyel**: Darstellende Geometrie, 2; Kegelschnitte, 2. — **Brandenberger**: Einführung in den mathematischen Unterricht II, 2. — **Burger**: Graphische Vervielfältigung, 2. — **Franel**: Höhere Mathematik II, 6, Repetitorium, 1, Übungen, 2. — **Grossmann**: Anwendung der darstellenden Geometrie, 2, Übungen, 3; Nichteuklidische Geometrie, 3. — **Hirsch**: Höhere Mathematik II, 6, Repetitorium, 1, Übungen, 2; Invariantentheorie, 2. — **Keller**: Repetitorium der darstellenden Geometrie: Axonometrie, Kegel-, Rotations- und Schraubenflächen, Flächen II. Grades usw., 2; Theorie der Projektivität mit Anwendung auf die Kurven II. Grades, 1. — **Kienast**: Galoissche Theorie der Gleichungen, 2 *g*. — **Kollros**: Anwendungen der darstellenden Geometrie, 2, Übungen, 3; Geometrie der N-Dimensionen, 2. — **Kraft**: Astatik, 2; Vektoranalysis: Elemente, 1; Geometrische Analysis, 3; Vektoranalysis VI, 2. — **Meissner**: Mechanik I, 6, Repetitorium, 1, Übungen, 2; Mechanik der Flüssigkeiten und Gase, 2. — **Polya**: Mathematische Übungen, 2; Einführung in die partiellen Differentialgleichungen, 2. — **de Quervain**: Die wichtigsten geographischen Reiseinstrumente mit Übungen und Exkursionen, 1. — **Rudio**: Anwendungen der höheren Mathematik, 4. — **Weyl**: Flächentheorie, 4; Analysis der Vektorfelder, 2. — **Wolfer**: Geographische Ortsbestimmung, 3; Übungen im astronomischen Beobachten, 3; Einleitung in die Astrophysik, 2; Grundzüge der geographischen Ortsbestimmung mit Übungen, für Grundbuchgeometer, 2. — **Zwicky**: Vermessungskunde, 5; Feldmessen, 8; Brücken- und Wasserbau, 3, Konstruktionsübungen, 3; Kulturtechnik II, 2, Konstruktionsübungen, 2; Ingenieurkunde, 2, Übungen, 4. —

Für die Schriftleitung verantwortlich Professor Dr. H. Th. Simon in Göttingen. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.